

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Εργασία:**

**«Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του υπό ανέγερση κτηρίου του  
Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών –  
Παθητικά κτήρια»**



υπό

**ΖΟΡΜΠΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ**

Διπλωματούχου Μηχανικού οικονομίας και Διοίκησης  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου 2016

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

**2018**

© 2018 Αναστάσιος Ζορμπάς

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

**Πρώτος Εξεταστής** Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος  
**(Επιβλέπων)** Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

**Δεύτερος Εξεταστής** Δρ. Ανδριτσος Νικολαος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Τρίτος Εξεταστής** Δρ. Ερρικος Σταπουντζης  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρώτα από όλα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Αναστάσιο Σταματέλλο, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Ήταν μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα και χρήσιμη διαδικασία και με τις πολύτιμες υποδείξεις της κ. Ολυμπία Ζώγου, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατάφερα να ολοκληρώσω την εργασία μου με επιτυχία. Της είμαι ευγνώμων για την βοήθεια που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Ανδρίτσο Νικόλαο και κ. Ερρίκο Σταπουντζή, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Αναστάσιος Ζορμπάς

**«Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του υπό ανέγερση κτηρίου του  
Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών –  
Παθητικά κτήρια»**

**ΖΟΡΜΠΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ**

Διπλωματούχος Μηχανικός οικονομίας και Διοίκησης  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου 2016

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος, Καθηγητής

Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

Περίληψη

Αντικείμενο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, τα Παθητικά Κτίρια (PassiveHouses) και να μελετήσει τους παράγοντες πως επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, θερμομόνωση και ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Ως case study χρησιμοποιούμε το υπό ανέγερση κτίριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εξετάστηκαν οκτώ (8) διαφορετικές περιπτώσεις θερμομόνωσης και συγκρίθηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας  $U_m$  του κτιρίου όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς με τον μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{max}$ .

Εξετάστηκαν επίσης οι εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, μηχανικού αερισμού και φωτισμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία του κτιρίου.

Ο στόχος λοιπόν μιας ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία ενός κτηρίου. Έτσι λοιπόν η σωστή επιλογή κατάλληλων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, με την κατά το δυνατόν ελάχιστη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας καθώς επίσης η χρήση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) αλλά και η εφαρμογή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, μπορούν να δημιουργήσουν ένα κτίριο πολύ χαμηλής κατανάλωσης.

## ABSTRACT

The aim of this postgraduate work is to present buildings of low energy consumption, Passive Houses and study the factors that influence the energy efficiency of buildings, such as thermal insulation and electromechanical equipment. As a case study, we use the erected building of the Department of Electrical and Computer Engineering of the University of Thessaly.

Eight (8) different thermal insulation cases were examined and the building thermal ability coefficients  $U_m$  were compared as derived from the calculations with the maximum allowed  $U_{max}$ .

Heating, cooling, mechanical ventilation and lighting installations were also considered to minimize as much energy consumption as possible for the proper operation of the building.

The objective of an energy study is to minimize as much energy consumption as possible for the proper operation of a building. Thus, the correct choice of suitable high-efficiency electromechanical systems, with the minimum consumption of primary energy as well as the use of renewable energy technologies (RES) and the implementation of automatic control systems for the operation of electromechanical installations, can create a very low-cost building.

## Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Σχημάτων	9
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>11</b>
<b>1.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ</b>	<b>12</b>
1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	12
<b>1.2 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΜΙΑ ΠΙΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ</b>	<b>17</b>
<b>1.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ</b>	<b>23</b>
<b>2. ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ</b>	<b>30</b>
2.1 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	30
2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	30
2.3 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ	32
2.4 ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	33
2.5 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ	34
<b>3. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ</b>	<b>35</b>
3.1 ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	35
3.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	38
<b>4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ</b>	<b>40</b>
4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	40
4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	45
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	47
4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	51

<b>5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2 ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>66</b>
 <b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>71</b>
 Βιβλιογραφία.....	74
Παράρτημα .....	78



## Κατάλογος Πινάκων και Εικόνων

Πίνακας 1 ) Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας .....	36
Πίνακας 2 ) Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα .....	37
Πίνακας 3 ) Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος Συντελεστής Θερμοπερατότητας $U_m$ κτηρίου για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα .....	37
Πίνακας 4 ) Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων .....	39
Πίνακας 5 ) Συντελεστές αμόνωτου κτιρίου εξεταζόμενο στην ζώνη Β με βάση τον κανονισμό θερμομονωσης 1979 .....	45
Πίνακας 6) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Α .....	46
Πίνακας 7) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Β .....	46
Πίνακας 8) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Γ .....	46
Πίνακας 9) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Δ .....	46
Πίνακας 10) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ιρλανδίας .....	47
Πίνακας 11) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Γερμανίας.....	47
Πίνακας 12) Συντελεστές του κτιρίου όπως θα κατασκευαστεί [KENAK].....	47
Πίνακας 13 ) Υπολογισμού $U_m$ & $U_{max}$ χρησιμοποιώντας τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των δομικών στοιχείων του πίνακα 2 .....	48
Πίνακας 14 ) Ποσοστιαία μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας .....	50
Πίνακας 15 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Α.....	52
Πίνακας 16 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Β.....	52
Πίνακας 17 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Γ .....	52
Πίνακας 18 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Δ .....	52
Πίνακας 19 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ιρλανδίας .....	53
Πίνακας 20 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Γερμανίας .....	53
Πίνακας 21 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα συντελεστές θερ/τητας των πραγματοποιούμενων δομικών στοιχείων του κτιρίου Ηλεκ/γων .....	53
Πίνακας 22 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χωρίς μόνωση .....	53

Πίνακας 23 ) Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύξης .....	57
Πίνακας 24 ) Στοιχεία συστημάτων Θέρμανσης .....	58
Πίνακας 25 ) Βαθμός απόδοσης συστημάτων θέρμανσης και ψύξης .....	58
Πίνακας 26) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Γερμανίας.....	62
Πίνακας 27) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού .....	62
Πίνακας 28) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) με την χρήση καλύτερου εξοπλισμού.....	62
Πίνακας 29) Ποσοστιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό των εσωτερικών χώρων των κτιριακών εγκαταστάσεων του τριτογενούς και του παραγωγικού τομέα .....	63
Πίνακας 30) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης με λαμπτήρες LED .....	66
Πίνακας 31 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης με λαμπτήρες Πυρακτώσεως.....	66
Πίνακας 32 ) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) με λάμπες πυρακτώσεως.....	66
Πίνακας 33 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού και LED.....	68
Πίνακας 34 ) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού, LED και γεωθερμία .....	68
Πίνακας 35 ) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) ανά χρήση .....	68
Πίνακας 36) Συγκριση του κτιρίου ηλεκτρολογών με τις ελαχιστες απαιτησεις των παθητικων κτιριων.....	70

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 ) Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρώπη .....	17
Εικόνα 2 ) Κλιματολογικά δεδομένα της Ελλάδας .....	36
Εικόνα 3) Κάτοψη υπογείου .....	40
Εικόνα 4 ) Τομή Κτιρίου .....	41
Εικόνα 5) Κάτοψη Β' ορόφου .....	42
Εικόνα 6 ) Κάτοψη Γ' ορόφου .....	42
Εικόνα 7 ) Κάτοψη Α' ορόφου .....	43
Εικόνα 8 ) Κάτοψη Ισογείου .....	43
Εικόνα 9 ) Τοπογραφία Οικοπέδου Κτηρίου .....	44
Εικόνα 10 ) Στοιχεία απόδοσης γεωθερμικών αντλιών .....	59
Εικόνα 11 ) Στοιχεία απόδοσης αντλίας θερμότητάς .....	59
Εικόνα 12 ) Στοιχεία απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου .....	60

Εικόνα 13 ) Τύποι λαμπτήρων LED .....	64
Εικόνα 14 ) Χώροι εφαρμογής με λάμπες LED .....	65

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 ) Ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων σε διάφορες χώρες της Ευρώπης.....	13
Σχήμα 2 ) Εξοικονόμηση εκπομπών CO <sub>2</sub> στο δίκτυο PASS-NET .....	14
Σχήμα 3 ) Αριθμός Παθητικών Κτιρίων ανά έτος και χώρα .....	15
Σχήμα 4 ) Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση χώρων, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη και ηλικία για τα κτίρια του οικιακού τομέα.....	16
Σχήμα 5) Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε κτίρια του τριτογενούς τομέα.....	17
Σχήμα 6 ) Εκδοθέντα ΠΕΑ ανά ενεργειακή κατηγορία .....	18
Σχήμα 7 ) Οι 5 βασικές αρχές Κτιρίου, <a href="http://www.eirak.org">www.eirak.org</a> του Παθητικού Κτιρίου (Passiv Haus) .....	20
Σχήμα 8 ) Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων ανά είδος χρήσης .....	23
Σχήμα 9). Σύγκριση πραγματοποιούμενων συντελεστών θερμοπερατότητας U <sub>m</sub> του κτιρίου με μέγιστο επιτρεπόμενο U <sub>m</sub> -max Ζώνης Β.....	49
Σχήμα 10). Ποσοστιαία ( %) μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας U <sub>m</sub> από τον μέγιστο επιτρεπόμενο U <sub>m</sub> -max (1,03 kWh/m <sup>2</sup> ) της ζώνης Β. ....	49
Σχήμα 11) Ετήσια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας του κτιρίου Ηλεκτρολόγων και για τα Οκτώ (8) Σενάρια και Σύγκριση αυτού με το Κτίριο Αναφοράς.....	54
Σχήμα 12) Ποσοστιαία μείωση (%) της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μας ως προς το κτίριο αναφοράς για όλα τα σενάρια.....	54
Σχήμα 13) Ποσοστιαία μείωση (%) της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μας για όλα τα σενάρια ως προς το πραγματοποιούμενο κτίριο. ....	55
Σχήμα 14 ) Βαθμός απόδοσης γεωθερμικής αντλίας 138 kW.....	61
Σχήμα 15 ) Βαθμός απόδοσης αερόψυκτου ψύκτη 90kW .....	61
Σχήμα 16) Βαθμός απόδοσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας 85 kW.....	61
Σχήμα 17 ) Βαθμός απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου 120 kW .....	61
Σχήμα 18) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου.....	69
Σχήμα 19) Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου σε σχέση με το κτίριο αναφοράς.....	69
Σχήμα 20) Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> ) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου σε σχέση με το πραγματοποιούμενο κτίριο.....	70

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τους Ευρωπαίους Επιτρόπους, αρμόδιους για θέματα ενέργειας που συγκροτούν το αντίστοιχο όργανο Energy Union, ένα φιλόδοξο σχέδιο για την ενεργειακή αναβάθμιση του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος και τη δόμηση νέων κτιρίων ενεργειακά βέλτιστων θα μπορούσε να περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Έτσι, η Ευρώπη μπορεί να δράξει την ευκαιρία να αποκομίσει πολλαπλά κοινωνικά, περιβαλλοντικά και αναπτυξιακά οφέλη.[28] Παράλληλα, οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στους τομείς των κτιρίων, είναι βέβαιο πως δημιουργούν χιλιάδες θέσεις εργασίας για τους μηχανικούς που είναι εξειδικευμένοι σε θέματα ενέργειας εντός της ΕΕ.[15]

Σπουδαίο στρατηγικό ρόλο σε αυτή την πολιτική διαδραματίζει η ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων αλλά και η κατασκευή νεόδμητων κτιρίων ανά την Ευρώπη με σαφή και αυστηρά κριτήρια ενεργειακής κατανάλωσης. Οι ευρωπαϊκές επιταγές είναι ιδιαίτερα αυστηρές για τον κτιριακό τομέα δεδομένου πως, σε πολλές χώρες της Ευρώπης συναντώνται κτίρια με μεγάλες ενεργειακές απώλειες.[26] Πιο συγκεκριμένα, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε νόμο για όλα τα κράτη-μέλη, σύμφωνα με την οποία από το 2020 όλα τα νεόδομητα κτίρια θα πρέπει να είναι “μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου” ή σχεδόν μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου ενώ ο νόμος αυτός αυτή θα τεθεί σε ισχύ από το 2018 για τα δημόσια κτίρια[Directive 2010/31/EU].

Πρόκειται για τα κτίρια, επονομαζόμενα και ως Zero Energy Buildings ή αλλιώς ZEB, τα οποία υποστηρίζουν ως βασική φιλοσοφία πως η κατανάλωση οποιασδήποτε μορφής ενέργειας θα πρέπει να εξισορροπείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ούτως ώστε το ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων να καθίσταται μηδενικό. Τα εν λόγω κτίρια κερδίζουν συνεχώς έδαφος στην αγορά ακινήτων αποτελώντας την πλέον σύγχρονη τάση στις κατασκευές κτιρίων. Μάλιστα, σε κύκλους των υπευθύνων της ΕΕ για θέματα ενεργειακής πολιτικής, υπάρχει η σκέψη να προωθηθεί μια ευρωπαϊκή οδηγία που να μην επιτρέπει από το 2021 και ύστερα την αγοραπωλησία αλλά και την εκμίσθωση ακινήτων και διαμερισμάτων εάν αυτά δεν προσεγγίζουν τις απαιτήσεις και τα κριτήρια ενός ZEB.[3]

Γίνεται λοιπόν σαφές πως η Ελλάδα δράττεται, της ευκαιρίας να δημιουργήσει και να παγιώσει μια μακροχρόνια ενεργειακή πολιτική που θα την βοηθήσει να καρπωθεί τα ευρύτερα περιβαλλοντικά, οικονομικά και ενεργειακά οφέλη που θα έχει η προσπάθεια της Ευρώπης για πραγματική βελτίωση.[1] Για το λόγο αυτό, είναι εθνική υποχρέωση η ενσωμάτωση των κτιρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης στο ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο ώστε η Ελλάδα να αυξήσει τον δείκτη ενεργειακή απόδοσης του κτιριακού αποθέματός της και, παράλληλα, να αυξήσει την ενεργειακή της αυτάρκεια.[4] Στα πλαίσια αυτά, ο σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να παρουσιάσει τη νέα κατηγορία κτιρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, τα λεγόμενα Παθητικά Κτίρια (Passive Houses) ως τον ανώτερο δείκτη σύγκρισης και μελετήσει ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ως εξεταζόμενο κτίριο λαμβάνεται το νέο κτίριο των ηλεκτρολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

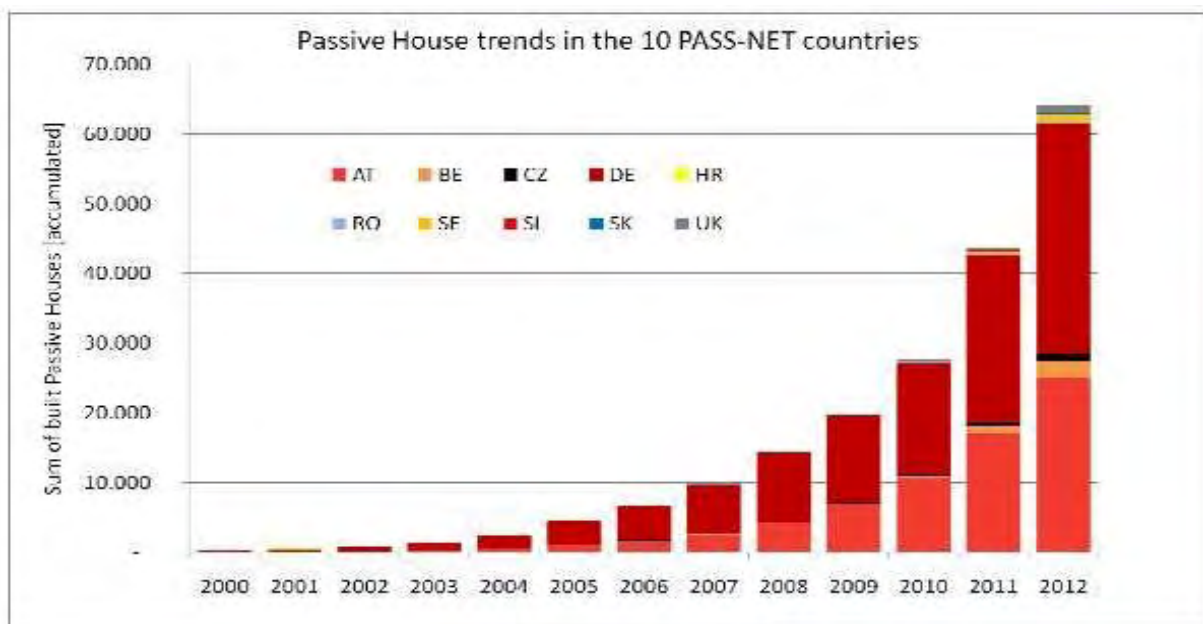
## 1.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

### 1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το Παθητικό Κτίριο έχει τις ρίζες της δημιουργίας του στη Γερμανία. . Το Σεπτέμβριο του 1996, ιδρύθηκε στο Darmstadt της Γερμανίας το PassivHaus-Institut, το Γερμανικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου που αποτέλεσε το πρώτο Εθνικό Ινστιτούτο εντός της ευρωπαϊκής επικράτειας και οριοθέτησε τις ενεργειακές απαιτήσεις του Παθητικού Κτιρίου έτσι όπως ισχύουν έως σήμερα. Το Γερμανικό Ινστιτούτο έδωσε το έναυσμα ούτως ώστε να δημιουργηθούν Εθνικά Ινστιτούτα Παθητικών Κτιρίων σε ολόένα και περισσότερες χώρες ανά την ευρωπαϊκή επικράτεια αλλά και διεθνείς οργανισμοί που συνέβαλλαν στη διάδοση της ιδέας του Παθητικού Κτιρίου αλλά και η πιστοποίηση αυτών. Έτσι, καλλιεργήθηκε και θεμελιώθηκε την τελευταία εικοσαετία η πανευρωπαϊκή τάση για κατακόρυφη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα μέσα από την κατασκευή κτιρίων που ανεξαρτητοποιούνται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και συνδυάζουν τον παθητικό με το βιοκλιματικό σχεδιασμό.[15]

Δεδομένης της γερμανικής προέλευσης του Προτύπου Παθητικού Κτιρίου, το εν λόγω πρότυπο θεωρείται γερμανικό από τη στιγμή της δημιουργίας του μέχρι σήμερα. Το πρώτο Παθητικό Κτίριο κατασκευάστηκε στο Darmstadt το 1991. Έκτοτε, η Γερμανία καταλαμβάνει τη μερίδα του λέοντος στις κατασκευές Παθητικών Κτιρίων, συνεισφέροντας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% στην πανευρωπαϊκή κατασκευή Παθητικών Κτιρίων.

Η υποχρέωση για κατακόρυφη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα απεικονίζεται στην αύξηση των κτιρίων που πιστοποιούνται ως Παθητικά, με τις τάσεις να είναι ολόένα και αυξητικές με το πέρασμα των χρόνων. Το παρακάτω γράφημα αναδεικνύει τις τάσεις αυτές εντός του δικτύου των 10 χωρών του PASS-NET έως το 2012.[1]

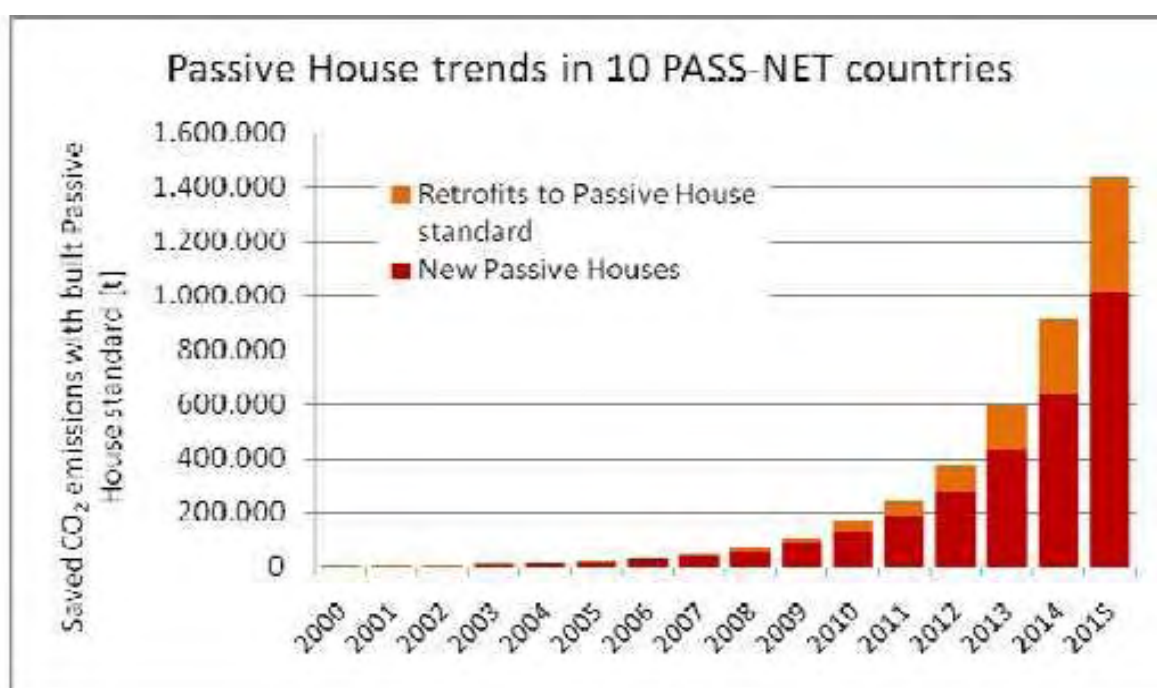


Σχήμα 1. Ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων σε διάφορες χώρες της Ευρώπης[1]

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 1 η Γερμανία και η Αυστρία κατέχουν τη συντριπτική πλειοψηφία στη δόμηση και την αγορά παθητικών κτιρίων, γεγονός που αποδεικνύει τον ηγετικό ρόλο που διαδραματίζουν στην κατασκευή κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης και στην ανάδειξη μίας βέλτιστης ενεργειακής πολιτικής.[7]

Στο παρακάτω γράφημα, φαίνεται ξεκάθαρα πως η ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων κτιρίων και η μετατροπή τους σε Παθητικά διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Οι τάσεις που απεικονίζονται στο διάγραμμα αυτό εναρμονίζονται με τη βούληση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μέσω του προγράμματος Intelligent Energy Europe, να επιτύχει μείωση της τάξης του 25-40 % στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2020 [[www.ec.europa.eu/energy/intelligent](http://www.ec.europa.eu/energy/intelligent)].

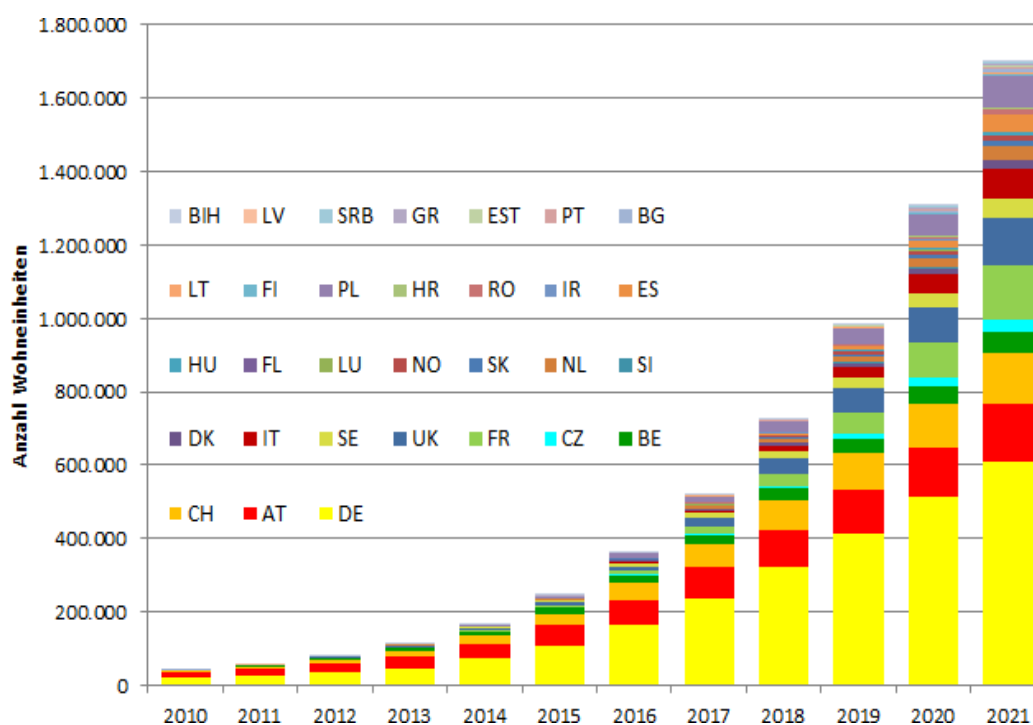
Προς αυτή την κατεύθυνση, οι διαβουλεύσεις σχετικά με την φερόμενη απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να θεσπίσει επιπλέον φορολόγηση στις χώρες που εξακολουθούν να μην παρουσιάζουν ουσιαστική βελτίωση στη μείωση των εκπομπών άνθρακα συνεχίζονται. Η εκπλήρωση των ανωτέρω στόχων απαιτεί την άμεση εισαγωγή Παθητικών Κτιρίων στο κτιριακό απόθεμα κάθε χώρας της Ευρώπης, ειδικά για αυτές που εμφανίζουν μια καθυστέρηση στην υιοθέτηση της ιδέας του Παθητικού Κτιρίου.[5]



Σχήμα2) Εξοικονόμηση εκπομπών CO<sub>2</sub> στο δίκτυο PASS-NET[1]

Με την πάροδο του χρόνου, το Παθητικό Κτίριο κερδίζει συνεχώς έδαφος στην κτιριακή αγορά, τόσο στην Ευρώπη όσο και στον κόσμο. Μέχρι το τέλος του 2014, αναμενόταν ο αριθμός των τελειοποιημένων παθητικών κτιρίων να άγγιζε τις 200.000. Το παρακάτω γράφημα της γερμανικής εταιρίας Lang-Consulting δείχνει τις προβλέψεις για την αναμενόμενη αύξηση του αριθμού των Παθητικών Κτιρίων έως το τέλος της τωρινής δεκαετίας.





Σχήμα3) Αριθμός Παθητικών Κτιρίων ανά έτος και χώρα [Study on the Development of Passive House Trends in Europe 2010-2021]

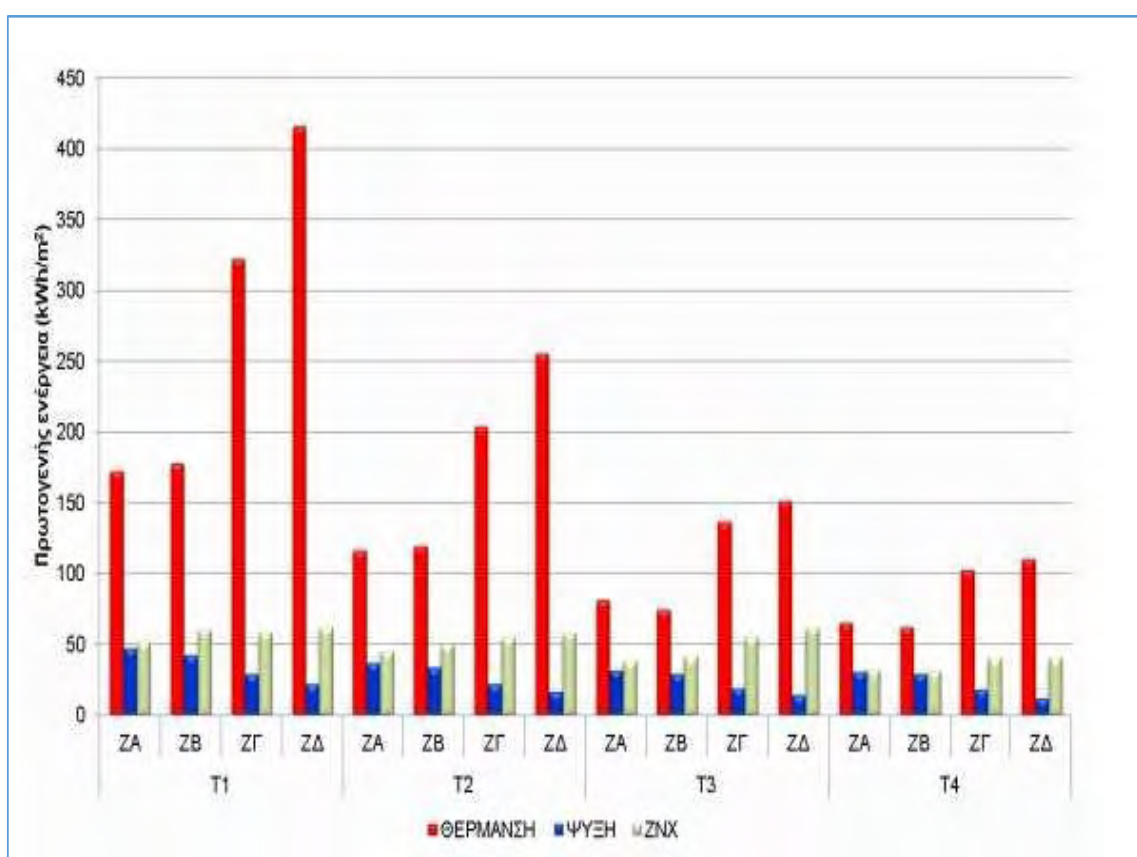
Η συνεισφορά και η πρωτοπορία της Γερμανίας στην κατασκευή παθητικών κτιρίων γίνεται ολοφάνερη και από το σχήμα 3.

Παρακάτω αποτυπώνεται η έως τώρα διάδοση της ιδέας του Παθητικού Κτιρίου στην Ελλάδα μέσα από την καταγραφή της ενεργειακής απόδοσης υφισταμένων κτιρίων τα οποία σχεδιάστηκαν ως παθητικά, είτε έπειτα από εξαρχής παθητικό σχεδιασμό είτε έπειτα από παθητική αναβάθμιση. Ύστερα από την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης, έχει διαπιστωθεί πως ένα μεγάλο μέρος της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνεται σε ετήσια βάση αφορά την κάλυψη των φορτίων ψύξης, δεδομένων των κλιματικών συνθηκών και της υψηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που επικρατούν στην Ελλάδα. Επομένως, κρίνεται ως αναγκαία η διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους επιτυγχάνεται η αποτελεσματική μείωση των ψυκτικών φορτίων αξιοποιώντας τις αρχές του παθητικού και βιοκλιματικού σχεδιασμού.[15] Έτσι, με βάση το παραπάνω σκεπτικό, τίθεται το ερώτημα εάν και κατά πόσο η θερμική άνεση διατηρείται στα ίδια επίπεδα εφόσον οι αριθμητικές απαιτήσεις του αρχικού προτύπου μεταβληθούν χάριν των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών στην Ελλάδα και- εν γένει- στη Μεσόγειο και, παράλληλα, διαπραγματεύεται μέσα από το παρόν κεφάλαιο της εργασίας η αναγκαιότητα της δημιουργίας μιας παραλλαγής του αρχικού προτύπου που θα εναρμονίζεται με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στη Μεσόγειο.[29]

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η δημιουργία ενός αντίστοιχου μεσογειακού προτύπου που θα θεσπίζει διαφορετικές απαιτήσεις, κυρίως σε ό,τι αφορά τα φορτία ψύξης, ούτως ώστε να πιστοποιεί ένα κτίριο ως παθητικό στην ευρύτερη περιοχή.

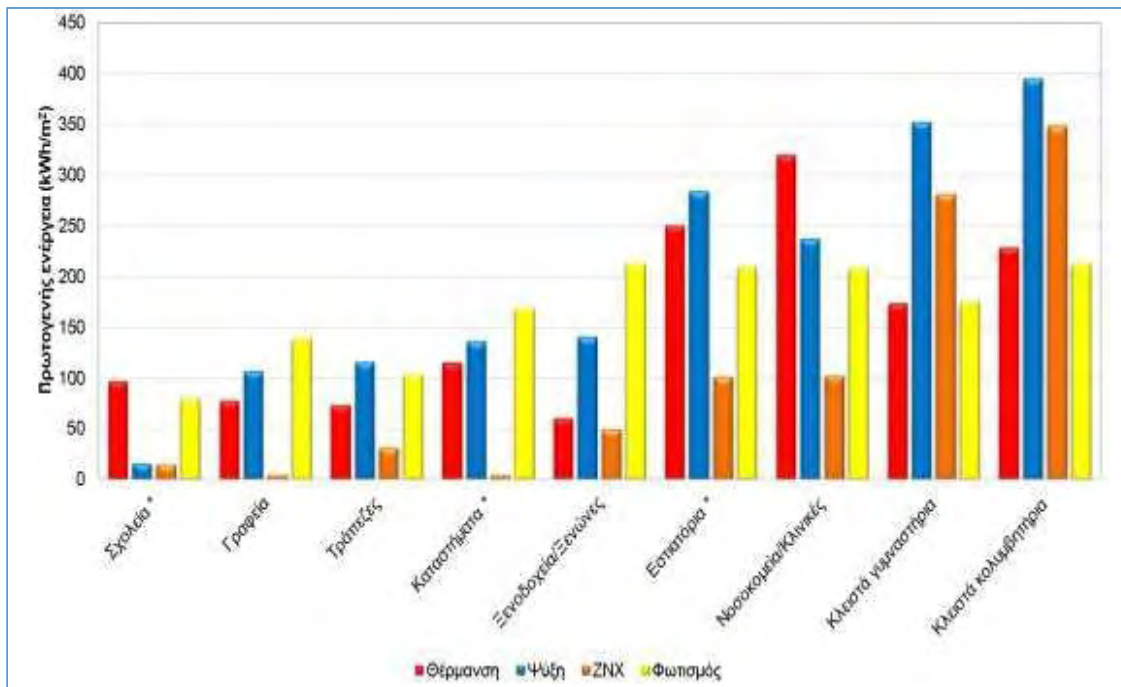
Είναι χαρακτηριστικό πως ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα απορροφά το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, από την οποία το 60% αφορά κτίρια κατοικιών και το 40% κτίρια τριτογενούς τομέα[9]. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με έρευνες τελευταίων χρόνων της ΕΛΣΤΑΤ, κάθε ελληνικό νοικοκυριό καταναλώνει κατά μέσο όρο 13994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του, από τις οποίες το 73,2% αφορά κατανάλωση θερμικής ενέργειας και το 26,8% ηλεκτρικής ενέργειας[3].

Παρακάτω, παρατίθενται δυο ενδεικτικά διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τη μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και ΖΝΧ στα κτίρια του οικιακού τομέα και του τριτογενούς τομέα αντίστοιχα. Στα κτίρια του οικιακού τομέα, για την καλύτερη ομαδοποίηση και απεικόνιση των δεδομένων κατανάλωσης, τα κτίρια χωρίστηκαν σε 4 ομάδες ανάλογα με την κλιματική τους ζώνη (ΖΑ, ΖΒ, ΖΓ, ΖΔ) και σε ακόμα 4 ανάλογα με την περίοδο δόμησής τους δηλαδή Τ1( πριν το 1980), Τ2( 1981-2000), Τ3( 2001- 2010), Τ4( 2011-2014). Η μείωση της καταναλισκόμενης πρωτογενούς ενέργειας από τη ζώνη Δ στη ζώνη Α και από την περίοδο Τ1 έως την περίοδο Τ4 είναι εμφανής στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 4). Στο γράφημα των κτιρίων του τριτογενούς τομέα, απεικονίζεται και μια συγκριτική απεικόνιση των ενεργειακών καταναλώσεων ανά τελική χρήση του κτιρίου.[16]

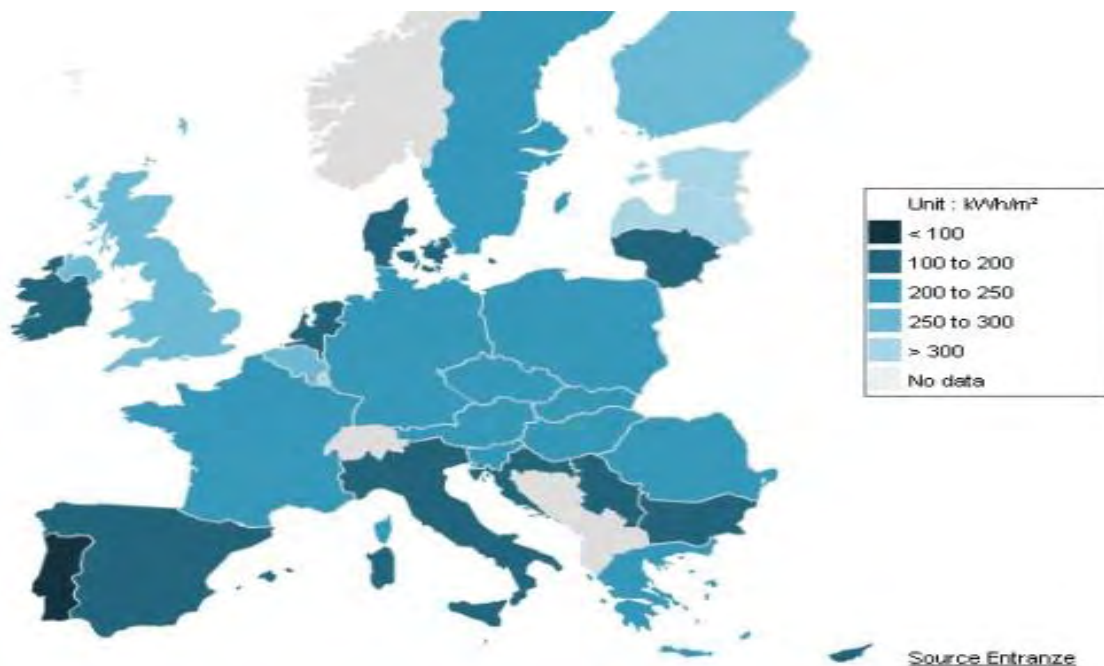


**Σχήμα 4)** Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση χώρων, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη και ηλικία για τα κτίρια του οικιακού τομέα [4]





Σχήμα 5) Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε κτίρια του τριτογενούς τομέα [4]



Εικόνα 1) Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρώπη[4]

Τα παραπάνω δείχνουν πως η Ελλάδα μέχρι τώρα είναι μια μάλλον σπάταλη ενεργειακά χώρα, άποψη που ενισχύεται αν συνυπολογίσουμε την διαχρονική έλλειψη ενός μηχανισμού και ενός θεσμικού προτύπου ελέγχου της ενεργειακής αποδοτικότητας των ελληνικών κτιρίων. Επιπλέον, είναι χαρακτηριστικό πως ένα σεβαστό μέρος των υφισταμένων ελληνικών κτιρίων είναι δομημένο πριν το 1980, σε μια εποχή όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων αποτελούσε άγνωστη λέξη. Όλα τα παραπάνω συνηγόρησαν στο να μην υπάρχει η παραμικρή θεσμική μέριμνα εδώ και δεκαετίες για την

απαιτούμενη ενεργειακή θωράκιση των ελληνικών κτιρίων με αποτέλεσμα τα τελευταία να μην έχουν την απαιτούμενη θερμομονωτική επάρκεια και έτσι να μετατρέπονται σε εστίες μεγάλων θερμικών απωλειών. Έτσι, η εξάρτησή μας από τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για θέρμανση όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο παρέμεινε μέχρι σήμερα, καθιστώντας μας ευάλωτους στις μεταπτώσεις της διεθνούς ενεργειακής σκακιέρας.[5]

Οι παραπάνω τάσεις αποτυπώνονται στο θεσμό των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης(ΠΕΑ), που δημιουργήθηκε το 2011.[3] Έως το τέλος περίπου του 2014, είχαν εκδοθεί 607.738 ΠΕΑ, τα οποία αποτέλεσαν το πρώτο αξιόπιστο δείγμα ενεργειακής απόδοσης του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος και τα οποία κατέδειξαν την πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση που χαρακτήριζε το ελληνικό κτιριακό απόθεμα. Το παρακάτω γράφημα, που αφορά τα εκδοθέντα ΠΕΑ κατά την περίοδο του πρώτου εξαμήνου του 2012, αποδεικνύει την παραπάνω θέση. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο πως οι ετήσιες ενεργειακές δαπάνες σε δημόσια κτίρια υπερβαίνουν τα 450 εκατομμύρια ευρώ αποτελώντας μία ακόμα από τις υπέρογκες δαπάνες του δημοσίου τομέα[9]. Το παρακάτω γράφημα, που αφορά τα εκδοθέντα ΠΕΑ κατά την περίοδο του πρώτου εξαμήνου του 2012, καταμαρτυρεί την πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση που αποδείχθηκε πως χαρακτήριζε το ελληνικό κτιριακό απόθεμα.



Σχήμα 6) Εκδοθέντα ΠΕΑ ανά ενεργειακή κατηγορία[10]

## 1.2 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΜΙΑ ΠΙΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Τα Παθητικά Κτίρια είναι εκείνα τα κτίρια τα οποία διασφαλίζουν την θερμική άνεση των χώρων τους σε οποιοσδήποτε κλιματικές συνθήκες χωρίς να είναι απολύτως αναγκαία

η ύπαρξη ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων για την κάλυψη των φορτίων ψύξης και θέρμανσης. Ένας άλλος ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί στο Παθητικό Κτίριο είναι αυτός που τα χαρακτηρίζει ως "κτίρια στα οποία η θερμική άνεση επιτυγχάνεται με την πρόψυξη ή την προθέρμανση του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται για την εσωτερική ατμόσφαιρα χωρίς την ύπαρξη επιπλέον ανακυκλοφορίας αέρα"[5].

Εκ πρώτης όψεως, ο στόχος που επιθυμεί να εκπληρώσει ένα παθητικό κτίριο με βάση τον ορισμό του φαντάζει αρκετά φιλόδοξος. Ωστόσο, το παθητικό κτίριο δεν αποτελεί απλά μια νέα κατηγορία κτιρίων, η οποία μειώνει κατακόρυφα τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων σε θέρμανση και ψύξη.[25] Είναι ένα κτίριο το οποίο προσφέρει βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, θερμική άνεση, υψηλή ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου που αυξάνει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων που ζουν εντός αυτού, μειώνει κατακόρυφα τις λειτουργικές δαπάνες αλλά και το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, ενώ μπορεί να ενσωματώσει τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και να είναι πολύ φιλικό προς το περιβάλλον συντελώντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσα από την απουσία χρήσης ορυκτών καυσίμων στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Έτσι, το Παθητικό Κτίριο θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια ευρύτερη σχεδιαστική φιλοσοφία κατασκευής και όχι σαν απλώς ένα ενεργειακά πολύ αποδοτικό κτίριο. Όπως χαρακτηριστικά διατύπωσε και ο RobertHasting στο 8<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Συνέδριο Παθητικού Κτιρίου,

" Τα Παθητικά Κτίρια πρέπει να βελτιστοποιούνται πάντα με κριτήριο την ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση και τη μέγιστη δυνατή ποιότητα υγιεινής διαβίωσης εντός του εσωτερικού τους".[ 6]

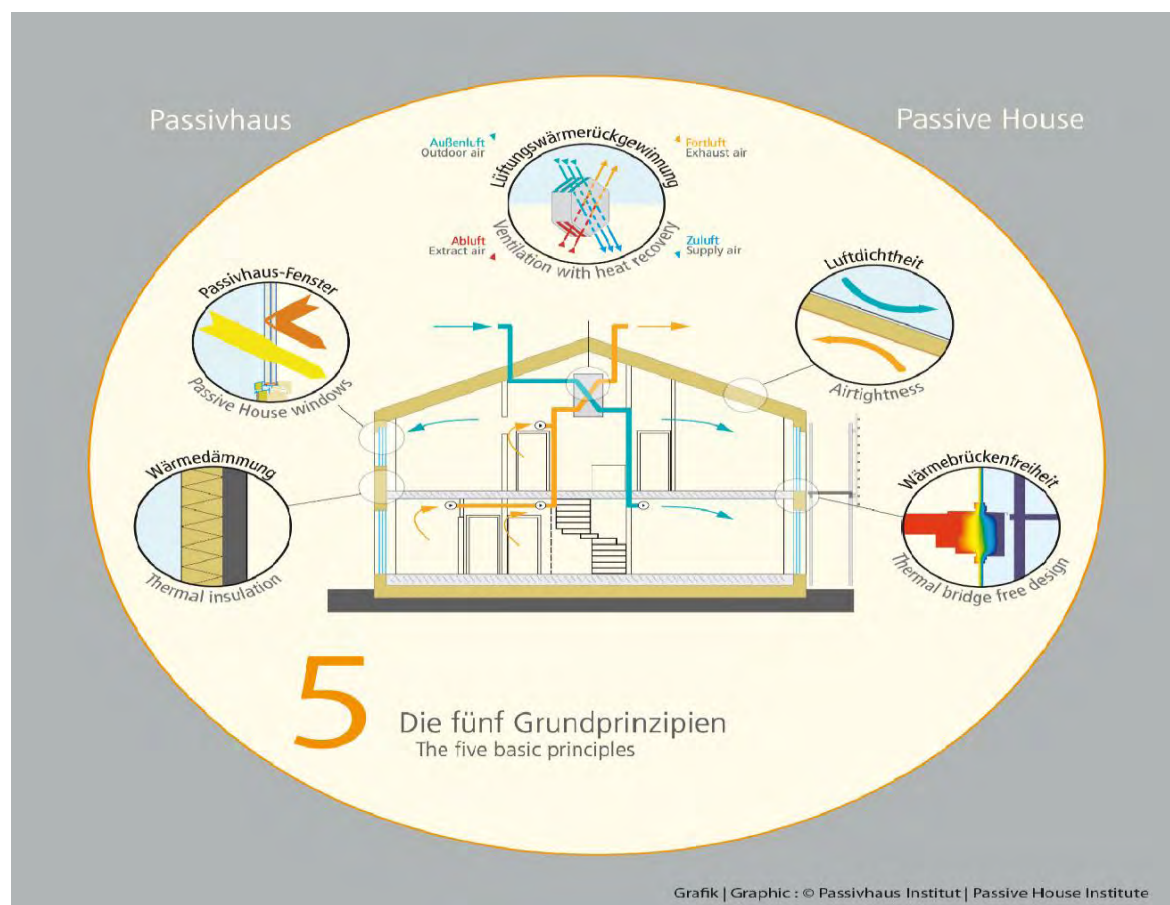
Το Πρότυπο Παθητικό Κτιρίου, έτσι όπως θεσπίστηκε από τους Γερμανούς, χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω 3 απαιτήσεις, που πρέπει να εκπληρώνονται ώστε ένα κτίριο να πιστοποιηθεί ως παθητικό:[6]

- Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη δεν μπορούν να υπερβαίνουν τις 15KWh/m<sup>2</sup>,
- Η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (δηλαδή της ενέργειας που αφορά θέρμανση, ηλεκτρισμό και ζεστό νερό χρήσης) δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 60 KWh/m<sup>2</sup>,[6]
- Οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις 0,6 ανά ώρα με την αεροστεγανότητα του κτιρίου να μετριέται με τη χρήση blower-door test(θύρα υποπίεσης) σε πίεση 50Pa.[6]
- Η συχνότητα θερμοκρασιών άνω των 25 ° C πρέπει να περιορίζεται σε λιγότερο από το 10% των ωρών χρήσης.[6]

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να διαχωριστεί η έννοια του Παθητικού Κτιρίου από αυτή του ZEB. Το Παθητικό Κτίριο, όπως αναφέρεται μόλις παραπάνω, επιτρέπει την ύπαρξη ελάχιστης ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης που θα συμφωνεί με τις παραπάνω αριθμητικές απαιτήσεις για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ενώ το Zero

Energy Building είναι το κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στην πραγματικότητα, το ZEB είναι μια ευρύτερη, ίσως και ιδεατή, φιλοσοφία που έχει θεσπιστεί με σκοπό να αποτελέσει ένα μέτρο σύγκρισης για όλα τα κτίρια ώστε αυτά να μεγιστοποιήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας. Το Παθητικό Κτίριο αποτελεί, λοιπόν, έναν τρόπο κατασκευής κτιρίων που προσεγγίζει σε μεγάλο ποσοστό τις προδιαγραφές ενός ZEB και, όπως θα αποδείξει παρακάτω η εργασία, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια πολύ καλή προσέγγιση του Nearly Zero Energy Building. Βεβαίως, παθητικά κτίρια μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να είναι ZEB ή και θετικού ισοζυγίου με περίσσεια παραγόμενης ενέργειας, αλλά ξεκαθαρίζεται πως το Passive House δεν είναι εξ ορισμού ένα ZEB.[6]

Για να μπορέσουν να εκπληρωθούν οι παραπάνω απαιτήσεις, το Παθητικό Κτίριο πρέπει να υιοθετεί και να εκπληρώνει 4 βασικές αρχές που αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του και συνιστούν ολόκληρη τη φιλοσοφία του παθητικού σχεδιασμού, ο οποίος επιδιώκει να διατηρεί τη θερμοκρασία των υπό μελέτη χώρων σε σταθερές τιμές, χωρίς την βοήθεια ενεργητικών συστημάτων ψύξης-θέρμανσης. Αυτές οι 5 αρχές που απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα με σειρά από τα αριστερά προς τα δεξιά όσον αφορά την αρίθμηση τους είναι οι ακόλουθες (σημειώνεται πως στο σχήμα φαίνονται 5 αρχές επειδή η θερμική μόνωση του κελύφους αντιμετωπίζεται ξεχωριστά από τις θερμογέφυρες σε αντίθεση με το κείμενο):



Σχήμα 7) Οι 5 βασικές αρχές Κτιρίου, [www.eipak.org](http://www.eipak.org) του Παθητικού Κτιρίου(PassivHaus) [Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού]

Άριστη θερμική μόνωση των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου. Ο βασικός

λόγος της κακής ενεργειακής απόδοσης των ελληνικών κτιρίων τα τελευταία χρόνια είναι η ελλιπής θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους του κτιρίου που οδηγεί σε μεγάλες ενεργειακές δαπάνες για θέρμανση αλλά και ψύξη ακόμα και με τα πιο αποδοτικά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης. Η σωστά σχεδιασμένη θερμομόνωση περιορίζει τη μετάδοση θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κτιρίου με αποτέλεσμα το χειμώνα η επιθυμητή ζέστη να παραμένει εντός του χώρου και το καλοκαίρι εκτός του εσωτερικού των χώρων.

1. **Θερμομόνωση:** Σχετίζεται με την επίτευξη εκείνου του πάχους μόνωσης και τη δημιουργία των στρώσεων μόνωσης που θα εξασφαλίσουν τον ελάχιστο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  του κελύφους, ο οποίος σε παθητικές κατασκευές συνιστάται να είναι μικρότερος ή ίσος από  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων και υψηλής ποιότητας θερμομονωτικών υλικών. Ωστόσο, η ελαχιστοποίηση του  $U$  εξαρτάται και από τον περιορισμό των θερμογεφυρών που παρατηρούνται κυρίως στα σημεία σύνδεσης μεταξύ δύο διαφορετικών δομικών στοιχείων και αυξάνουν τη ροή θερμότητας ανάμεσα στα δομικά στοιχεία.

2. **Ανοίγματα:** Χρησιμοποίηση τέτοιων κουφωμάτων και παραθύρων που θα περιορίζουν τη μετάδοση θερμότητας μέσα από τα διαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου. Τα κουφώματα των παραθύρων αλλά και τα ίδια τα παράθυρα αποτελούν στα ελληνικά κτίρια μία από τις μεγαλύτερες εστίες θερμικών απωλειών καθώς είναι παλαιάς τεχνολογίας, δίχως ικανότητα διακοπής της μετάδοσης θερμότητας και με ελλιπή αεροστεγανότητα ευνοώντας τον ανεπιθύμητο αερισμό. Ο παθητικός σχεδιασμός αντικαθιστά τα παλαιά κουφώματα με σύγχρονα, πιστοποιημένα και ενεργειακά αποδοτικά κουφώματα-τα οποία διαθέτουν θερμοδιακοπή- αλλά και τους παλαιούς μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες με σύγχρονους ενεργειακούς υαλοπίνακες, διπλούς ή και τριπλούς. Στα παθητικά κτίρια, οι ενεργειακοί υαλοπίνακες που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν  $U_g < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  και το παράθυρο συνολικά  $U_w < 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Σημειώνεται πως η αντικατάσταση παλαιών κουφωμάτων με συμβατικό τζάμι με σύγχρονα ενεργειακά, με θερμοδιακοπή, κουφώματα με ενεργειακό διπλό τζάμι μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και κατά 60%.

3. **Αεροστεγανότητα:** Τα Παθητικά Κτίρια κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε το κτιριακό τους κέλυφος να διατηρείται αεροστεγές και να αποφεύγεται η διαρροή αέρα μέσα από αυτό εμποδίζοντας τη δημιουργία μούχλας και υγρασίας λόγω των ρευμάτων αέρα. Η αεροστεγανότητα του κτιρίου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι εναλλαγές αέρα να μην ξεπερνούν τις 0,6 ανά ώρα και επιτυγχάνεται με τη χρήση υλικών επί του κελύφους τα οποία είναι αεροστεγή και δημιουργούν ένα αεροστεγές εσωτερικό φράγμα του στρώματος μόνωσης.

4. **Μηχανικός αερισμός:** Με δεδομένη την υψηλή αεροστεγανότητα ενός παθητικού κτιρίου αλλά ταυτόχρονα και την ανάγκη αερισμού του, τα παθητικά κτίρια χρησιμοποιούν μηχανικό αερισμό για να λύσουν το πρόβλημα του αερισμού. Μέσω του συστήματος μηχανικού αερισμού, προσάγεται μέσω των σωλήνων προσαγωγής συνεχώς νωπός εξωτερικός αέρας που είναι απαλλαγμένος από μούχλα, σκόνες και υγρασία ενώ ο αέρας που υπάρχει ήδη στο χώρο απάγεται από τους σωλήνες απαγωγής και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Η προσαγωγή του αέρα γίνεται σε χώρους διαρκούς κατοίκησης όπως καθιστικό, κρεβατοκάμαρες, γραφεία ενώ η απαγωγή από χώρους με έντονη υγρασία όπως μπάνια, κουζίνα και τουαλέτες. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η διαρκής ανανέωση του αέρα του χώρου με αποτέλεσμα η ποιότητα εσωτερικού αέρα να διατηρείται υψηλή

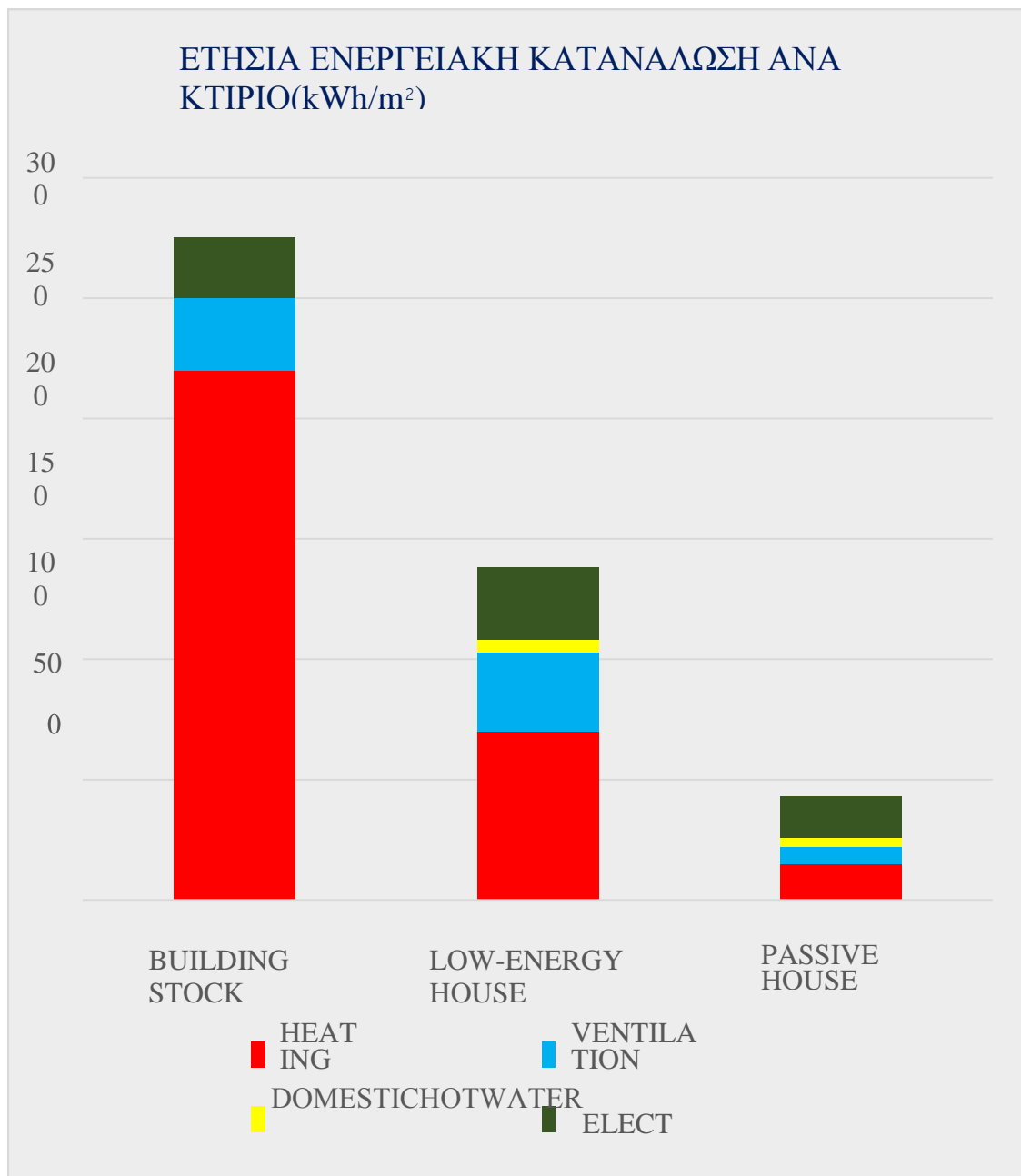


συντελώντας στην επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής υγιεινής διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων. Ο μηχανικός αερισμός χρησιμοποιεί εναλλάκτες θερμότητας για την προθέρμανση ή την πρόψυξη του εξωτερικού αέρα, ούτως ώστε αυτός να προσάγεται στην επιθυμητή θερμοκρασία και να διασφαλίζει την απαιτούμενη θερμική άνεση. Το φιλτράρισμα του νωπού αέρα από τους εναλλάκτες είναι απαραίτητο ώστε ο εισερχόμενος αέρας να αφυγραίνεται τελείως. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται η εσωτερική ζέση κατά τους χειμερινούς μήνες και ο απαραίτητος δροσισμός κατά τους θερινούς μήνες ενώ ο ρυθμός εναλλαγής αέρα είναι τέτοιος που διασφαλίζει την απαιτούμενη ποιότητα αέρα που χαρακτηρίζει ένα παθητικό κτίριο. Τα συστήματα μηχανικού αερισμού εκμεταλλεύονται την ανάκτηση θερμότητας του απαγόμενου ζεστού αέρα ώστε να προθερμάνουν ή να προψύξουν τον εισερχόμενο αέρα και έτσι να μειώσουν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα, ελαχιστοποιώντας έτσι και τις ενδεχόμενες απώλειες. Πρέπει να σημειωθεί πως τα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας είναι πολύ αποδοτικά, με απόδοση που μπορεί να αγγίξει έως και το 85-90%, με βασική προϋπόθεση όμως πως τα κτίρια είναι αεροστεγή ούτως ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω φυσικού αερισμού των χώρων. Έτσι, σε ένα παθητικό κτίριο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι εναλλαγές αέρα του χώρου λόγω φυσικού αερισμού δεν πρέπει να ξεπερνούν τις 0,6 ανά ώρα. Για τον εκμηδενισμό των απωλειών αερισμού και τον καλύτερο έλεγχο της θερμικής άνεσης, συνίσταται το ισοζύγιο ροών εισερχόμενου νωπού και εξερχόμενου αέρα απόρριψης από το μηχανικό σύστημα αερισμού να είναι μηδενικό.

**5. Θερμογέφυρες:** Ο παθητικός σχεδιασμός προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση, αν όχι τον εκμηδενισμό, των θερμογεφυρών με σκοπό τον περιορισμό της θερμορροής και της υγρασίας που παρατηρείται στα σημεία εμφάνισης θερμογεφυρών ούτως ώστε να αυξηθεί η ποιότητα αέρα στο εσωτερικό των χώρων. Κατά την κατασκευή παθητικών κτιρίων, η δημιουργία των στρώσεων του κελύφους πρέπει να εξαλείφει τις όποιες ασυνέχειες μεταξύ τους ώστε το δημιουργούμενο κτιριακό κέλυφος να έχει άριστη θερμική μόνωση και να περιορίζει κατακόρυφα τις θερμογέφυρες, πάντοτε σε συνάρτηση με τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες.

Υλοποιώντας τις παραπάνω αρχές, το Παθητικό Κτίριο κατορθώνει να γίνεται μια κατασκευή που προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας.

Η κατακόρυφη μείωση της χρήσης τελικής και πρωτογενούς ενέργειας οδηγεί σε σημαντικό περιορισμό των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου και έτσι το Παθητικό Κτίριο μπορεί να αποτελέσει μια πραγματικά αειφόρο κατασκευή που εναρμονίζεται με τις ευρύτερες ανάγκες για περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Το σχήμα 8, που εξήχθη με βάση στοιχεία από την ιστοσελίδα [www.passivehouserevolution.org](http://www.passivehouserevolution.org) δείχνει τη σύγκριση μεταξύ συμβατικού κτιρίου, κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και παθητικού κτιρίου στην ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα επιφάνειας για θέρμανση, κλιματισμό, ηλεκτρισμό και ζεστό νερό χρήσης. Η υπεροχή των παθητικών κτιρίων στην πτώση των ενεργειακών απαιτήσεων είναι εμφανής. Είναι χαρακτηριστικό πως τα παθητικά κτίρια μπορούν να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας έως και κατά 80-90% σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά.



**Σχήμα 8) Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων ανά είδος χρήσης**

[\[www.passivehouserevolution.org\]](http://www.passivehouserevolution.org)

Στα επόμενα κεφάλαια, μέσω της καταγραφής και της παρουσίασης κάποιων παθητικών κτιρίων που έχουν χτιστεί ανά τον κόσμο αναλύονται οι τρόποι και οι τεχνικές που ακολουθούνται ώστε να επιτευχθούν οι αρχές λειτουργίας και οι απαιτήσεις των Παθητικών Κτιρίων που περιγράφονται παραπάνω. Με αυτό τον τρόπο, αναλύονται σε βάθος οι παράμετροι λειτουργίας που χαρακτηρίζουν το PassiveHouse από το σχεδιασμό έως την ολοκλήρωση της κατασκευής του.

### 1.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται μια σειρά από κτίρια που κατασκευάστηκαν από την αρχή της δόμησής τους ως παθητικά και που κατάφεραν να συνδυάσουν την απαιτούμενη ενεργειακή θωράκισή τους με την υψηλής ποιότητας αρχιτεκτονική σε τέτοιο βαθμό που ξεχώρισαν και βραβεύτηκαν στα πλαίσια του διαγωνισμού Passive House Awards 2014, τα αποτελέσματα του οποίου γνωστοποιήθηκαν στο Διεθνές Συνέδριο Παθητικού Κτιρίου που διεξήχθη τον Απρίλη του 2014 στο Άαχεν της Γερμανίας.[15]

#### 1) BelfieldHomes-Philadelphia(USA)



Πρόκειται για το πρώτο πιστοποιημένο Παθητικό Κτίριο στη Φιλαδέλφεια των ΗΠΑ, ολοκληρωμένο το 2012, που περιλαμβάνει 3 οικιστικές μονάδες και συνολική επιφάνεια θερμαινόμενου χώρου 413 m<sup>2</sup>.

Η αυξημένη θερμομονωτική επάρκεια στα δομικά στοιχεία του κτιρίου συνίσταται στα παρακάτω:

- Εξωτερικοί Τοίχοι: τοποθετήθηκε πυκνό στρώμα κυτταρίνης ( $\lambda=0,038 \text{ W/K}$ ) πάχους 14 cm και πολύ ισοκυανικός αφρός (PUR) 51 mm, θερμοπερατότητα  $U=0,169 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Δάπεδο σε επαφή με έδαφος: 102 mm εξηλασμένη πολυστερίνη XPS ( $\lambda=0,029 \text{ W/mK}$ ) και 286 mm κυτταρίνης, τελική θερμοπερατότητα  $U=0,097 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Οροφή: 305 mm κυτταρίνης, 51 mm πολυισοκυανικού αφρού(PUR) ( $\lambda=0,024 \text{ W/mK}$ ), τελική θερμοπερατότητα  $U=0,109 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Στα παράθυρα, χρησιμοποιήθηκε τριπλός υαλοπίνακας με αποτέλεσμα  $U_g=0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$  και τα παράθυρα να είχαν συνολικά  $U_w=0.83 \text{ W/m}^2\text{K}$



Οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα είναι 0,4, όπως έδειξε το τεστ αεροστεγανότητας. Για τον επαρκή αερισμό των χώρων, χρησιμοποιείται σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας σε ποσοστό 75%, συμπεριλαμβανομένων και των απωλειών στους αγωγούς προσαγωγής-επιστροφής αέρα. Η μέγιστη ικανότητα του μηχανικού αερισμού ανέρχεται σε παροχή 866 m<sup>3</sup>/h.

Οι ετήσιες ανάγκες για θέρμανση ανέρχονται σε 14 kWh/m<sup>2</sup> και για ψύξη σε 12 kWh/m<sup>2</sup> σύμφωνα με το λογισμικό PhPP, καλύπτοντας τις απαιτήσεις του Παθητικού Κτιρίου. Το ετήσιο θερμικό φορτίο το κτιρίου ανέρχεται σε 12 W/m<sup>2</sup> και το ετήσιο ψυκτικό σε 10 W/m<sup>2</sup>. Επίσης, οι ετήσιες ανάγκες σε πρωτογενή ενέργεια για θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρισμό ανέρχονται σε 113 kWh/m<sup>2</sup>. Για την κάλυψη των μικρών φορτίων σε θέρμανση και ZNX(Ζεστό Νερό Χρήσης) χρησιμοποιείται μια μικρή κεντρική αντλία θερμότητας αέρος-αέρος, που διανέμει ζεστό αέρα με ανεξάρτητους αγωγούς σε κάθε διαμέρισμα.

## 2) Montessori School ( Aufkirchen,Germany)





Το παραπάνω κτίριο είναι πανεπιστήμιο, κατασκευασμένο το 2004 και με επιφάνεια θερμαινόμενου χώρου 3275 m<sup>2</sup>. Η θερμομονωτική επάρκεια περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα:

Δομικό Στοιχείο	Συντελεστής θερμοπερατό- τητας U( W/m <sup>2</sup> K)
Εξωτερικός Τοίχος	0.176
Οροφή	0.102
Δάπεδο	0.146
Πλαίσιο Κουφώματος	0.75
Παράθυρα-Τζάμι	0.805

Ο μηχανικός αερισμός του κτιρίου γίνεται μέσω γεωεναλλακτών θερμότητας που εκμεταλλεύονται τις υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες θερμοκρασίες του εδάφους για να επιτύχουν την απαιτούμενη προθέρμανση του εσωτερικού αέρα. Το κτίριο επιτυγχάνει πάρα πολύ καλή αεροστεγανότητα, απαιτώντας 0,09 εναλλαγές αέρα ανά ώρα. Οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου είναι οι ακόλουθες:

- 12 kWh/m<sup>2</sup> για θέρμανση
- 105 kWh/m<sup>2</sup> πρωτογενούς ενέργεια για θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρισμό

και για την κάλυψή τους χρησιμοποιείται ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας με μικρούς λέβητες συμπύκνωσης φυσικού αερίου. Επίσης, για την αποθήκευση ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιείται μια μικρή δεξαμενή αποθήκευσης.

Το συνολικό κόστος κατασκευής του κτιρίου έφτασε τα 5.800.000 € και, σύμφωνα με το PhPP, τα 1587 €/m<sup>2</sup> θερμαινόμενου χώρου.

### 3) RHW.2 Office Tower in Vienna, Austria





Πρόκειται για τον πρώτο πύργο γραφείων που κατασκευάστηκε σύμφωνα με το πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου το 2012. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ζητούμενη θερμική άνεση και η ποιότητα αέρα που εγγυάται το Παθητικό Κτίριο συνδυάστηκαν με τη μοντέρνα κι ελκυστική αρχιτεκτονική που απαιτεί ένα τέτοιας εμβέλειας μεγάλο εμπορικό κτίριο. Η συνολική επιφάνεια θερμαινόμενου χώρου υπολογίστηκε σε 20984m<sup>2</sup>.

Η θερμομονωτική επάρκεια του κτιρίου συνίσταται στα παρακάτω:

Δομικό Στοιχείο	Συντελεστής θερμοπερατότητας ( W/m <sup>2</sup> K)
Εξωτερικός Τοίχος	0.374
Οροφή	0.11
Δάπεδο	0.318
Τζάμια Παραθύρων	0.7
Παράθυρα	0.73

Για τις ανάγκες του μηχανικού αερισμού, το προφίλ του κτιρίου χωρίστηκε σε 8 ζώνες, κάθε μία από τις οποίες έχει διαφορετικές ανάγκες αερισμού. Κάθε ζώνη διαθέτει τους δικούς της σωλήνες μεταφοράς του εισερχόμενου αέρα από τον κεντρικό εναλλάκτη, στους οποίους ρυθμίζεται η παροχή που θα εξασφαλίζει αέρα στην επιθυμητή θερμοκρασία, και τη δική της αυτόνομη κεντρική μονάδα εξαερισμού. Το συνολικό σύστημα ανάκτησης αέρα έχει απόδοση 79%, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών από τους αγωγούς μεταφοράς αέρα.

Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του πύργου ανέρχονται σε:

- 14 kWh/m<sup>2</sup> για θέρμανση
- 117 kWh/m<sup>2</sup> πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρισμό

Η αεροστεγανότητα που επιτυγχάνεται έχει ως αποτέλεσμα οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα να είναι 0,39 όπως έδειξε το τεστ αεροστεγανότητας.

Το κτίριο συνδυάζει άριστα τη βέλτιστη χρήση των υφιστάμενων πόρων του και την άριστη θερμομονωτική επάρκεια του κελύφους του. Τα στοιχεία από τον ήλιο, τον αέρα και το νερό συνδυάζονται αρμονικά με τις σύγχρονες τάσεις κατασκευής κτιρίων και τα σύγχρονα θερμομονωτικά υλικά παρέχοντας πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με έναν τρόπο που υιοθετεί τις αρχές του βιοκλιματικού και οικολογικού σχεδιασμού.

Ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της καύσης βιοαερίου, παράλληλα με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην οροφή, υπερκαλύπτουν την ενεργειακή ζήτηση σε ηλεκτρισμό με αποτέλεσμα η περίσσεια της παραγόμενης ενέργειας να

διατίθεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για δημόσια χρήση. Είναι χαρακτηριστικό πως το σύστημα συμπαραγωγής είναι ικανό να καλύψει περίπου το 60% της συνολικής ετήσιας ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου, ενώ είναι υπεύθυνο για την κάλυψη του 48% περίπου των ετήσιων ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση. Το υπόλοιπο 52 % τροφοδοτείται από την μια γεωθερμική αντλία θερμότητας

Το συνολικό κόστος ανέγερσης του κτιρίου αγγίζει τα 98,23 εκατομμύρια ευρώ, με τα 3,6 από αυτά περίπου να απαιτούνται ούτως ώστε το κτίριο να κατασκευαστεί παθητικό και όχι συμβατικό και να αναμένεται να αποσβεστούν σε μια περίοδο 14 χρόνων, μέσω της μείωσης κατά 80% της απαιτούμενης καταναλισκόμενης ενέργειας.

Σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα, γίνεται φανερό πως, μέσω της αυξημένης θερμομονωτικής ικανότητας του κτιριακού κελύφους που απεικονίζεται στις τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων, τα θερμικά φορτία των κτιρίων πέφτουν κατακόρυφα. Επίσης, η παροχή αέρα εντός του κτιρίου που προθερμαίνεται μέσω της θερμότητας ανάκτησης του συστήματος μηχανικού αερισμού εξασφαλίζει την απαραίτητη ποιότητα αέρα, απαλλαγμένου από σκόνης, μούχλα και υγρασία ενώ συντελεί στην επίτευξη της αναγκαίας θερμικής άνεσης. Παρά ταύτα, η εφαρμογή του προτύπου παθητικού κτιρίου, έτσι όπως αυτό είναι θεσπισμένο και βασισμένο πάνω σε κλιματικές συνθήκες που συναντώνται στην Κεντρική Ευρώπη και αυτό είναι εύλογο επειδή στην ουσία η πατρίδα του Παθητικού Κτιρίου είναι η Γερμανία, έχει δημιουργήσει συζητήσεις σχετικά με την ενδεχόμενη προσαρμοστικότητα των αριθμητικών απαιτήσεων του προτύπου και την ανάγκη διαφοροποίησης πτυχών της φιλοσοφίας σχεδιασμού στις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες κάθε χώρας. Σχετικά με το παραπάνω ερώτημα, οι υποστηρικτές της αλλαγής των τιμών του παραμέτρων του προτύπου ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες διατρανώνουν τα εξής:

1) Οι υψηλότερες θερμοκρασίες των μεσογειακών χωρών κατά τους χειμερινούς μήνες και η μικρότερη χρονική διάρκεια εντός του έτους κατά την οποία συναντώνται χαμηλές θερμοκρασίες συγκριτικά με χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης επιτρέπουν τον περιορισμό των απαιτήσεων της θερμομόνωσης και των θερμογεφυρών. Υποστηρίζεται πως η τιμή  $U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , που απαιτείται να έχει το κτιριακό κέλυφος σύμφωνα με τις επιταγές του προτύπου, μπορεί να είναι και μεγαλύτερη χωρίς να επηρεάζει τη θερμική άνεση.[29] Επομένως, σε χώρες όπως η Ελλάδα και η Ιταλία, τα πάχη μόνωσης μπορούν να είναι μικρότερα, άρα η μετάδοση θερμότητας να είναι μεγαλύτερη διαμέσου του κτιριακού κελύφους. Συμπερασματικά, διατυπώνεται η άποψη πως, ακόμα και με μέγιστη ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση μεγαλύτερη των  $15 \text{ kWh/m}^2$  λόγω μικρότερης θερμομόνωσης, τα μεσογειακά κτίρια μπορούν να πιστοποιηθούν ως παθητικά διότι η αύξηση του παραπάνω ορίου αντισταθμίζεται από τις γενικά ήπιες θερμοκρασίες του μεσογειακού χειμώνα

2) Τα παραπάνω ισχύουν και για τα κουφώματα των παραθύρων, τα οποία υποστηρίζεται πως πρέπει να έχουν μικρότερη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης σε σχέση με τη Νότια Ευρώπη. Είναι χαρακτηριστικό πως σε χώρες όπως η Αυστρία, η Γερμανία και η Ιρλανδία συναντάται σε πολλές περιπτώσεις κτιρίων, παθητικών και μη, η χρήση τριπλού

υαλοπίνακα στα παράθυρα καθώς και η χρήση κουφωμάτων με εξαιρετική θερμομονωτική επάρκεια. Στην περίπτωση της Ελλάδας και των μεσογειακών χωρών, είναι πιθανή η επίτευξη των στόχων που θέτει το παθητικό κτίριο με τζάμια διπλής υάλωσης και με κουφώματα μεγαλύτερου συντελεστή θερμοπερατότητας σε σχέση με τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στην υπόλοιπη Ευρώπη.

3) Η αξιοποίηση ηλιακών κερδών κατά τους χειμερινούς μήνες συντελεί στη μείωση των θερμικών φορτίων στις μεσογειακές χώρες. Έτσι, η πλειοψηφία των μεσογειακών κτιρίων έχει ή πρέπει να έχει νότιο προσανατολισμό για τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ηλιακών κερδών. Για το λόγο αυτό, οι νότιες όψεις διαμορφώνονται με μεγάλα ανοίγματα από τα αδιαφανή δομικά τους στοιχεία, τα οποία όμως ενδέχεται να πολλαπλασιάζουν τα ψυκτικά φορτία κατά τους θερινούς μήνες. Τα ψυκτικά φορτία μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη σκίαση και συστήματα ηλιοπροστασίας. Αντίθετα με όλα αυτά, σε πιο βόρειες χώρες, τα κτίρια κατασκευάζονται χωρίς μεγάλα ανοίγματα γι' αυτό και πολλές φορές χαρακτηρίζονται ως "κουτιά",

4) Είναι αμφισβητήσιμη η χρησιμότητα της λειτουργίας του μηχανικού αερισμού σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου στις μεσογειακές χώρες. Η πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των ψυκτικών φορτίων με αποτέλεσμα ο φυσικός νυχτερινός αερισμός να είναι αρκετός, σε πολλές των περιπτώσεων, για να τα καλύψει. Ειδικά σε περιοχές με υψόμετρο και συχνότερα φαινόμενα πτώσης θερμοκρασίας κατά τις νυχτερινές χώρες, ο μηχανικός αερισμός είναι πολύ πιθανό να είναι περιττός και η θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων να παραμένει σταθερή υπό τη βοήθεια μόνο του φυσικού αερισμού ή δροσισμού. Στις μεσογειακές χώρες, λοιπόν, είναι αναγκαίος ο καθορισμός του ποσοστού χρήσης του μηχανικού αερισμού κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου ούτως ώστε να μην καταναλώνεται ενέργεια από το μηχανικό αερισμό σε περίπτωση που ο φυσικός αερισμός αρκεί για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων. Επιπλέον, σε ορισμένες περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, αποτελεί συνήθης πρακτική η απουσία μόνωσης στο δάπεδο που επαφίεται με το έδαφος ούτως ώστε να γίνεται εκμετάλλευση του εξωτερικού δροσισμού για την αντιμετώπιση των πολύ μεγάλων ψυκτικών φορτίων. Για παράδειγμα, είναι πολύ πιθανή η περίπτωση μια μονοκατοικία στην Κρήτη να μη θερμομονωθεί στο δάπεδο για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, όμως είναι δύσκολο αυτό να πραγματοποιηθεί σε μια περιοχή της Ελλάδας με χαμηλότερες κατά βάση θερμοκρασίες όπως η Ορεστιάδα.

## 2. ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

### 2.1 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση των ιδιοτήτων όλων των δομικών στοιχείων που προαναφέρθηκαν και θα εξεταστεί ο ρόλος τους και το κατά πόσο συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτιρίου.

Δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους ονομάζονται όλα τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το φυσικό σύνορο μεταξύ του εσωτερικού χώρου όπου οι άνθρωποι περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους από το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα δομικά στοιχεία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα αδιαφανή και τα διαφανή δομικά στοιχεία. Στα αδιαφανή δομικά στοιχεία ανήκουν οι τοιχοποιίες, τα δάπεδα, τα υποστυλώματα (κολώνες), οι δοκοί και οι επιστεγάσεις. Στα διαφανή δομικά στοιχεία ανήκουν τα υαλοστάσια ή κουφώματα του κτιρίου, τα οποία αποτελούνται από τα πλαίσια και τους υαλοπίνακες. Τα αδιαφανή και τα διαφανή δομικά στοιχεία διακρίνονται σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία (π.χ. τοιχοποιίες) και σε οριζόντια δομικά στοιχεία (π.χ. επιστεγάσεις, δάπεδα).

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα δομικά στοιχεία, ονομάζονται δομικά υλικά. Το σκυρόδεμα (μπετόν), το τούβλο, η πέτρα, το γυαλί και το ξύλο είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά.

Τα δομικά υλικά (επομένως και τα δομικά στοιχεία) παρουσιάζουν πολλές ιδιότητες, οι οποίες ρυθμίζουν σε σημαντικό βαθμό την αλληλεπίδραση μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος, καθορίζοντας έτσι τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Οι ιδιότητες αυτές θα μας απασχολήσουν στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου.

### 2.2 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στα διάφορα σώματα, ένα ποσοστό της ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο απορροφάτε από τα σώματα και μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία αποθηκεύεται στη μάζα τους. Η θερμότητα αυτή θα μεταδοθεί σε άλλα γειτονικά σώματα ή στον αέρα με τρεις μηχανισμούς: με αγωγή, θερμική μετάβαση και ακτινοβολία.[37]

Η ροή θερμότητας μέσα από κάθε υλικό, εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του, όπως το πάχος του, αλλά και τις θερμικές του ιδιότητες, οι οποίες είναι οι εξής:

**Ειδική θερμότητα  $c$ :** Είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μάζας 1kg του υλικού κατά  $1^{\circ}\text{C}$ . Μονάδες μέτρησης έχει τα  $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$  ή  $[\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})]$ . [37]

**Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ :** Είναι η ποσότητα θερμότητας που διέρχεται μέσα σε 1h από ομοιογενές υλικό πάχους 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο παράλληλων επιφανειών του υλικού είναι ίση με  $1^{\circ}\text{C}$ .

**Συντελεστής θερμικής μετάβασης  $\alpha$ :** Είναι η ποσότητα θερμότητας, η οποία μεταβιβάζεται μέσα σε 1h μεταξύ μίας επιφάνειας  $1\text{m}^2$  και του αέρα ή του υγρού, που εφάπτεται σε αυτήν, όταν η διαφορά θερμοκρασίας τους είναι  $1^{\circ}\text{C}$ . [37]

**Αντίσταση θερμικής μετάβασης  $1/\alpha$ :** Είναι το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής μετάβασης και συμβολίζεται εναλλακτικά με το γράμμα R. Μονάδες μέτρησης έχει τα  $[(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}]$  ή  $[(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})/\text{kcal}]$ . [37]

**Συντελεστής θερμοδιαφυγής υλικού  $\Lambda$ :** Είναι η ποσότητα θερμότητας, η οποία διέρχεται μέσα σε 1h από ένα υλικό ορισμένου πάχους και επιφάνειας  $1\text{m}^2$ , όταν η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο όψεις του υλικού είναι  $1^{\circ}\text{C}$ . Δίδεται από τη σχέση:  $\Lambda = \lambda/d$   $[\text{kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})]$  ή  $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$  [37]

όπου,

$d$ , το πάχος του υλικού,

$\lambda$ , ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού.



**Αντίσταση θερμοδιαφυγής υλικού  $1/\Lambda$** : Είναι το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής υλικού και συμβολίζεται εναλλακτικά με το γράμμα  $R_0$ . Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού.[37]

**Συντελεστής θερμοπερατότητας τοιχώματος  $U$** : Είναι η ποσότητα θερμότητας που διέρχεται μέσα σε 1h από ένα τοίχωμα δεδομένου πάχους και επιφάνειας  $1\text{m}^2$ , όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα ή του υγρού, το οποίο εφάπτεται στις δύο πλευρές του τοιχώματος είναι  $1^\circ\text{C}$ . Δίδεται από τη σχέση:

$$U = 1/(1/\alpha_i + \sum(d_n/\lambda_n) + 1/\alpha_a + 1/\alpha_e) [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

όπου

$\alpha_e$ , ο συντελεστής θερμικής μετάβασης του εξωτερικού αέρα,  
 $\alpha_a$ , ο συντελεστής θερμικής μετάβασης του εγκλωβισμένου στο  
 $\alpha_i$ , ο συντελεστής θερμικής μετάβασης του εσωτερικού αέρα,  
 $\lambda_n$ , ο θερμικής αγωγιμότητας του υλικού  $n$  σε σύνθετο τοίχωμα,  
 $d_n$ , το πάχος του υλικού  $n$  σε σύνθετο τοίχωμα,

**Αντίσταση θερμοπερατότητας τοιχώματος  $1/U$** : Είναι το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας και χαρακτηρίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του τοιχώματος, στις δύο όψεις του οποίου εφάπτεται αέρας ή υγρό.

Η ροή της θερμότητας γίνεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο υλικό και από το θερμότερο προς το ψυχρότερο περιβάλλον. Η ιδιότητα αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση και την επαναπόδοση της θερμότητας από τα υλικά.[44]

Όλη αυτή η διεργασία έχει ιδιαίτερη σημασία για τα δομικά στοιχεία από τα οποία οικοδομείται το κτίριο, καθώς μέσω αυτών, το κτίριο ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον (με αγωγή, θερμική μετάβαση και ακτινοβολία). Αυτό σημαίνει πως με την επιλογή των κατάλληλων οικοδομικών υλικών, το κέλυφος του κτιρίου μπορεί να συμπεριφερθεί ως αποθήκη θερμότητας, αλλά και ως πηγή θέρμανσης για το εσωτερικό του κτιρίου, χάρις στην θερμότητα που αποθηκεύει στη μάζα του.[35]

Η ικανότητα ενός δομικού υλικού ή στοιχείου να αποθηκεύει θερμότητα στη μάζα του και να την αποδίδει βαθμιαία με σημαντική χρονική καθυστέρηση, ονομάζεται θερμοχωρητικότητα. Η θερμοχωρητικότητα είναι ανάλογη προς τον όγκο, τη μάζα και την πυκνότητα του υλικού. Δίνεται δε, από τη σχέση:

$$C = m \cdot c = \rho \cdot V \cdot c [\text{kcal}/^\circ\text{C}] \text{ ή } [\text{kJ}/\text{K}]$$

όπου  $c$ , η ειδική θερμότητα του υλικού,  
 $\rho$ , η πυκνότητα του υλικού,

$V$ , ο όγκος του υλικού,  
 $m$ , η μάζα του υλικού

Από τον ορισμό της θερμοχωρητικότητας, γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι τα δομικά υλικά με μεγάλη τιμή θερμοχωρητικότητας έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας στη μάζα τους και να την αποδώσουν με μεγάλη χρονική καθυστέρηση στο περιβάλλον.[44] Έτσι, είναι προφανές, πως τα δομικά υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ενός κτιρίου, πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές θερμοχωρητικότητας. Τέτοια υλικά είναι το σκυρόδεμα, η πέτρα και το τούβλο (κατά σειρά μειούμενης θερμοχωρητικότητας) που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις κατασκευές. Από τη θερμοχωρητικότητα και το πάχος ενός δομικού στοιχείου, εξαρτάται ο ρυθμός με τον οποίο αυτό απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα. Αυτός ο ρυθμός ονομάζεται θερμική αδράνεια του στοιχείου.[7]

## 2.3 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ.

Η μετάδοση της θερμότητας στα δομικά υλικά γίνεται κυρίως μέσω αγωγής. Επομένως, όσο μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη θερμομονωτική ικανότητα παρουσιάζει. Βάσει αυτού του κριτηρίου, ως θερμομονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία έχουν  $\lambda < 0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

Συνήθως, τα θερμομονωτικά υλικά είναι πορώδη υλικά, τα οποία περιέχουν στο εσωτερικό τους ένα μεγάλο αριθμό μικρών πόρων (κυψελίδων), οι οποίες περικλείουν ακίνητο αέρα. Ο ακίνητος αέρας είναι ο χειρότερος αγωγός της θερμότητας, με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ίσο με, μόλις  $0,021 \text{ kcal}/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ . [38]

Τα μονωτικά υλικά χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες είναι τα οργανικά υλικά, τα ανόργανα υλικά, τα μονωτικά σκυροδέματα και τα οικολογικά υλικά. Στα οργανικά υλικά ανήκει η διογκωμένη πολυστερίνη (felizol), η εξηλασμένη πολυστερίνη (styrofoam), η πολυουρεθάνη, η πολυστυρόλη, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), η φαινολικήρυτίνη, κ.α. Στα ανόργανα υλικά ανήκει ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, ο ορυκτοβάμβακας, ο διογκωμένος περλίτης (perlomin), τα θερμομονωτικά τούβλα, κ.α. Στα μονωτικά σκυροδέματα ανήκει το κισσηρομπετόν, το κυψελομπετόν και το περλομπετόν. Τέλος, στα οικολογικά υλικά ανήκει ο διογκωμένος φελλός, η διογκωμένη άργιλος, το λινάρωμαλλο, τα ρολά από ίνες κοκκοφοίνικα ή υπολείμματα βαμβακιού, κ.α. [17]

Τα κριτήρια επιλογής και αξιολόγησης των μονωτικών υλικών – τα οποία ταυτόχρονα προσδιορίζουν και τις ιδιότητές τους – είναι τα ακόλουθα:

Επίδραση θερμοκρασίας.  
Επίδραση υγρασίας.  
Αντίσταση στη φωτιά.

Ηχομόνωση.  
Μηχανική αντοχή.  
Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας.  
Χημική συμπεριφορά.  
Αν και πόσο επιβλαβές είναι για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Ασφαλώς, την καλύτερη επιλογή μονωτικών υλικών αποτελούν τα οικολογικά υλικά. Στα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνεται η περιορισμένη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή τους, η δυνατότητα ανακύκλωσής τους και η φιλική συμπεριφορά προς τον άνθρωπο (δεν περιέχουν καρκινογόνους ή τοξικούς ρύπους) και το περιβάλλον (δεν μολύνουν κατά την παραγωγή και τη χρήση τους). Βέβαια, το κόστος τους είναι υψηλότερο των υπολοίπων συμβατικών θερμομονωτικών υλικών.[18]

Στον αντίποδα των οικολογικών υλικών υπάρχουν κάποια άλλα υλικά, η χρήση των οποίων εγκυμονεί κινδύνους για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, το Διεθνές Κέντρο Έρευνας Καρκίνου (IARC) έχει χαρακτηρίσει ως καρκινογόνους τον υαλοβάμβακα και τον πετροβάμβακα. Η χρήση αυτών των υλικών πρέπει να γίνεται σε μικρές ποσότητες και να είναι πλήρως στεγανοποιημένη. Ακόμα ένα υλικό που δημιουργεί πολλά προβλήματα σε όλη τη διάρκεια της ζωής του είναι το PVC. Αυτό είναι ένα συνθετικό υλικό από πετρέλαιο και χλώριο κυρίως, το οποίο είχε ευρείας κλίμακας εφαρμογές στον κτιριακό τομέα και τη βιομηχανία. Πλέον, η χρήση του, ειδικά στα κτίρια, έχει περιοριστεί ή απαγορευτεί σε πολλές χώρες της Ε.Ε. Τα μονωτικά υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο μας δηλαδή το είδος, τα πάχη τους, οι συντελεστές αλλά και ο τρόπος που θα χρησιμοποιηθούν αναφέρονται παρακάτω, καθώς επίσης και στους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου για (6) έξι διαφορετικά σενάρια θερμομόνωσης. [38]

## 2.4 ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Όταν τα διάφορα υλικά δέχονται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, απορροφούν ένα μέρος αυτής, ενώ το υπόλοιπο το ανακλούν. Το πηλίκο της απορροφούμενης προς την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία ονομάζεται απορροφητικότητα του υλικού, ενώ το πηλίκο της ανακλώμενης προς την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία ονομάζεται ανακλαστικότητα του υλικού. [39]

Οι συντελεστές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας ενός αδιαφανούς υλικού ή μιας επιφάνειας εξαρτώνται κυρίως από τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας, δηλαδή από το χρώμα και την υφή της. Ανοιχτόχρωμες βαφές έχουν υψηλό δείκτη ανακλαστικότητας, σε αντίθεση με τις σκουρόχρωμες βαφές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη απορροφητικότητα. Επίσης, η ανακλαστικότητα στιλπνών και λείων επιφανειών πλησιάζει τη μονάδα, ενώ η απορροφητικότητα τους είναι αντίστοιχα μειωμένη. Το αντίθετο ισχύει για τις τραχιές επιφάνειες.[41]

Ιδιαίτερη αξία έχουν οι συντελεστές απορροφητικότητας και ανακλαστικότητας των

δομικών υλικών, τα οποία αποτελούν τις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων. Οι εξωτερικές επιφάνειες του κτιριακού κελύφους δέχονται το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Άρα από την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα που τις χαρακτηρίζει, καθορίζονται ουσιαστικά τα ηλιακά κέρδη των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου. Εξωτερικές επιφάνειες με μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας, βοηθούν στη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου με φυσικό τρόπο και συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας από τον κλιματισμό του χώρου[41]

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα και προσπάθεια για την δημιουργία υλικών με ανεπτυγμένα οπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Τα υλικά αυτά ονομάζονται ψυχρά υλικά και αφορούν στοιχεία των εξωτερικών επιφανειών των κτιρίων (χρώματα, μεμβράνες οροφής, κεραμίδια, κ.α.).

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο μας (χρώματα, και μεμβράνες οροφής) αναφέρονται παρακάτω, καθώς επίσης και η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα τους.[8]

## 2.5 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ.

Τα ανοίγματα ενός κτιρίου αποτελούν ένα σημαντικό αρχιτεκτονικό στοιχείο του, καθώς λειτουργούν ως μέσο φυσικού ηλιασμού, αερισμού και φωτισμού των εσωτερικών χώρων, προσφέρουν επαφή στους χρήστες με το εξωτερικό περιβάλλον βελτιώνοντας έτσι τη ψυχολογική άνεσή τους όταν βρίσκονται εντός του κτιρίου και αποτελούν ένα στοιχείο αισθητικής για το κτίριο.[41]

Τα ανοίγματα καλύπτονται από υαλοπίνακες στο μεγαλύτερο μέρος τους. Το γυαλί αποτελεί μια εξαιρετική πηγή θερμικών κερδών, αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζει αυξημένες θερμικές απώλειες σε σχέση με τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου. Γι' αυτό, απαιτείται σοβαρή μελέτη της θέσης και του μεγέθους των ανοιγμάτων.

Τα νότια προσανατολισμένα ανοίγματα, με μια μικρή επιτρεπόμενη απόκλιση  $\pm 30^\circ$ , μεγιστοποιούν τα ηλιακά κέρδη τη χειμερινή περίοδο. Τα κέρδη αυτά είναι αρκετά για να καλύψουν τις απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου την άνοιξη και το φθινόπωρο για εύκρατα κλίματα, όπως το μεσογειακό. Επίσης η σκιάσή τους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι εύκολη με τη χρήση οριζόντιων σκιάστρων. Επομένως, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός προτιμά τέτοια ανοίγματα, τα οποία είναι κατά προτίμηση μεγάλα.[35]

Τα ανατολικά και τα δυτικά ανοίγματα έχουν πολύ λιγότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα νότια και πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για την ικανοποίηση των συνθηκών οπτικής άνεσης. Ειδικά τα δυτικά ανοίγματα έχουν το μειονέκτημα να δέχονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία τις απογευματινές ώρες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δηλαδή τις ώρες που η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου είναι ήδη μέγιστη, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης.

Τέλος, τα βορινά ανοίγματα χρησιμοποιούνται για την παροχή φυσικού φωτισμού και για φυσικό αερισμό του κτιρίου το καλοκαίρι. Το μέγεθος τους όμως πρέπει να είναι περιορισμένο γιατί κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες.

Αξίζει να σημειωθεί, πως όλα τα ανοίγματα πρέπει να διαθέτουν διατάξεις σκίασης.

### 3. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού είναι το ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ορθολογική χρήση και την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενούς τομέα.

Πρέπει να σημειωθεί πως το πλήθος των νόμων, υπουργικών αποφάσεων, προεδρικών διαταγμάτων και άλλων νομοθετικών ρυθμίσεων, το οποίο έχει σχέση με την ορθολογική χρήση και την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, είναι πολύ μεγάλο που δεν επιτρέπει παρά μόνο μια συνοπτικότερη παρουσίαση και μάλιστα μόνο των κυριότερων νομοθετημάτων. Το πλήρες περιεχόμενο των νομοθετημάτων που πρόκειται να παρουσιαστούν στη συνέχεια, καθώς και άλλων σχετικών, νομοθετικών ρυθμίσεων, μπορεί να βρεθεί εύκολα από σχετικές πηγές στο διαδίκτυο, με κυριότερη την ηλεκτρονική σελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

#### 3.1 ΑΠΟΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η πρώτη, σοβαρή προσπάθεια θέσπισης νομοθετικών μέτρων με αντικείμενο την εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις έγινε με το Προεδρικό Διάταγμα της 01.06/04.07.1979, το οποίο θεσμοθετούσε τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων(Κ.Θ.Κ.) (ΦΕΚΔ'362/04.07.1979).

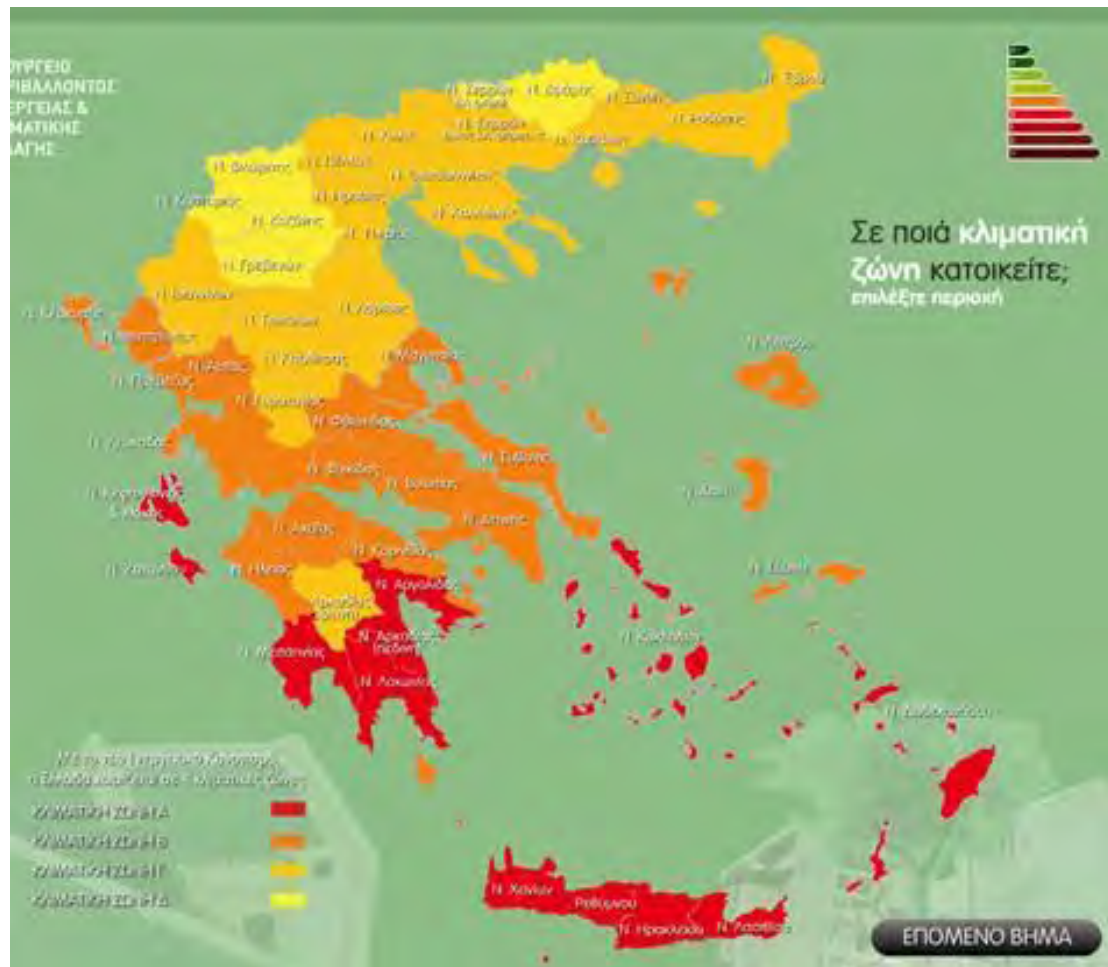
Ο κανονισμός αυτός προέβλεπε την υποχρεωτική λήψη μιας σειράς μέτρων θερμομόνωσης των δομικών στοιχείων - διαφανών και αδιαφανών – του κτιριακού κελύφους με σκοπό την ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας εκ μέρους των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού των εσωτερικών χώρων. Στα πλαίσια του κανονισμού αυτού εκπονούνταν η Μελέτη Θερμομόνωσης κτιρίων. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτού του κανονισμού δεν ήταν ικανοποιητικά εξαιτίας τόσο της πλημμελούς εφαρμογής του, όσο και της αδυναμίας του να ανταποκριθεί πλήρως στις απαιτήσεις, αδυναμία, η οποία μεγάλωνε με την πάροδο του χρόνου.

Η πολιτεία λοιπόν έχει θεσπίσει μέγιστους επιτρεπόμενους συντελεστές θερμοπερατότητας (U) για όλα τα δομικά στοιχεία, έτσι ώστε να υπάρχει μια μίνιμουμ εγγυημένη θερμομόνωση για κατοικίες/κτίρια. Αυτοί οι συντελεστές ποικίλλουν ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία βρισκόμαστε.[9]. Οι 4 κλιματικές ζώνες που εμφανίζονται στο χάρτη προέκυψαν από τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής και το υψόμετρο με κριτήριο τα 500 μέτρα. Δηλαδή αν μια περιοχή που βρίσκεται σε ύψος πάνω από 500 μέτρα εξετάζεται με τα κριτήρια της αμέσως δυσμενέστερης ζώνης.



## Κλιματικά δεδομένα

Οι υπολογισμοί έγιναν για κλιματικά δεδομένα της Β κλιματικής ζώνης.



Εικόνα 2) Κλιματολογικά δεδομένα της Ελλάδας

Πίνακας 1) Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλίκης, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

**Πίνακας 2) Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.[9] TOTEE 2017**

Δομικόστοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m <sup>2</sup> .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U <sub>V_D</sub>	0,5	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U <sub>V-W</sub>	0,6	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U <sub>V_DL</sub>	0,5	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U <sub>V_G</sub>	1,2	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U <sub>V_WE</sub>	1,5	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U <sub>V-F</sub>	3,2	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U <sub>V_GF</sub>	2,2	2,00	1,80	1,80

**Πίνακας 3) Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος Συντελεστής Θερμοπερατότητας U<sub>m</sub> κτηρίου για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.[9] TOTEE 2017**

A/V (m <sup>-1</sup> )	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U <sub>m</sub> ) σε [W/m <sup>2</sup> .K]			
	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
≤ 0,2	1,26	1,14	1,05	0,96
0,3	1,20	1,09	1,00	0,92
0,4	1,15	1,03	0,95	0,87
0,5	1,09	0,98	0,90	0,83
0,6	1,03	0,93	0,86	0,78
0,7	0,98	0,88	0,81	0,73
0,8	0,92	0,83	0,76	0,69
0,9	0,86	0,78	0,71	0,64
≥ 1,0	0,81	0,73	0,66	0,60

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθμό 21475/4707,η οποία δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚΒ'880/19.08.1998, αντικαθιστούσε τον Κανονισμό Θερμομόνωσης με τον Κανονισμό Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.) με σκοπό την εναρμόνιση της εγχώριας νομοθεσίας με την οδηγία 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «για περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης». Οι διατάξεις του Κ.Ο.Χ.Ε.Ε .αποσκοπούσαν στον περιορισμό της

κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας από μέρους των ενεργειακών συστημάτων των κτιρίων μέσω της εφαρμογής διάφορων τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες περιλάμβαναν, μεταξύ άλλων, τη χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμογή αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού. Ο νέος κανονισμός προέβλεπε υποχρεωτική ενεργειακή μελέτη των κτιρίων και έκδοση ειδικού εντύπου μετρά ενεργειακά χαρακτηριστικά του κτιρίου, το βαθμό και την κατηγορία ενεργειακής απόδοσής του. Επίσης, προέβλεπε τη διενέργεια υποχρεωτικών ενεργειακών επιθεωρήσεων με σκοπό την πιστοποίηση των στοιχείων που αναγράφονταν στο ειδικό αυτό έντυπο.[42]

Η θεσμοθέτηση—για πρώτη φορά—ενός ολοκληρωμένου κανονισμού με θέμα την εξοικονόμηση ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις, δεν απέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα, καθώς ο κανονισμός αυτός έμεινε ανενεργός και δεν εφαρμόστηκε ποτέ στην πράξη. Έτσι λοιπόν, η έκδοση της νέας οδηγίας 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ε.Ε. «για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» επανέφερε στο προσκήνιο την ανάγκη θέσπισης ενός νέου νόμου, ο οποίος θα εισάγει ένα νέο κανονισμό, με τον οποίο θα θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στον κτιριακό τομέα. Ο νόμος αυτός ήταν ο 3661/2008 νόμος και ο κανονισμός που αυτός εισήγαγε ήταν ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Περισσότερα για ο 3661/2008 νόμο και τον Κ.Εν.Α.Κ. παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

Άμεσα συνδεδεμένος με το νόμο 3661/2008 και τον Κ.Εν.Α.Κ. είναι ο νόμος 3855/2010 (ΦΕΚΑ'95/23.06.2010) «Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις», ο οποίος είναι και ο τελευταίος ψηφισθέντας νόμος που αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας. Με τις διατάξεις του νόμου αυτού, η ελληνική νομοθεσία εναρμονίζεται με την Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ε.Ε. «για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της Οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου». Μεταξύ των άλλων, ο νόμος αυτός περιλαμβάνει σχέδιο ανάπτυξης μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του εθνικού στόχου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αυτός διατυπώνεται στο νόμο 3851/2010, τον οποίο θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.

### 3.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ο νόμος 3661/2008(ΦΕΚ Α' 89/19.06.2008) «μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις» είχε ως σκοπό την εναρμόνιση της εγχώριας νομοθεσίας με την οδηγία 2002/91 /ΕΚ

Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ε.Ε. «για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων». Κατ' εξουσιοδότηση αυτού του νόμου εκδόθηκαν οι παρακάτω κανονιστικές ρυθμίσεις, οι οποίες ολοκληρώνουν το νομοθετικό πλαίσιο που απαιτείται για την εφαρμογή του νόμου:

1. Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) που εγκρίθηκε με τη Δ6/Β/οικ.5825/30.03.2010 Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και ΠΕΚΑ (ΦΕΚΒ'407/09.04.2010).

Για την υποστήριξη της εφαρμογής του Κ.Εν.Α.Κ. εγκρίθηκαν με την οικ. 17178/2010 Απόφαση Υπουργού ΠΕΚΑ (ΦΕΚ Β' 1387/02.09.2010) οι παρακάτω Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ,



οι οποίες διατίθενται από το ΤΕΕ:

TOTEE20701-1/2010 «Αναλυτικές, εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης».

TOTEE 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων».

TOTEE20701-3/2010«Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών».

TOTEE 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».

Επίσης για την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. εκδόθηκαν:

- α) Η εγκύκλιος «Εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)» (οικ.1603/04.10.2010).
- β) Η εγκύκλιος «Διευκρινήσεις για την ορθή εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων» (οικ. 2279/22.12.2010).
- γ) Η εγκύκλιος 2366/05.01.2011 με επιπλέον διευκρινήσεις.
- δ) Η εγκύκλιος 22/26.01.2011 της Συντονιστικής Επιτροπής Συμβολαιογραφικών Συλλόγων Ελλάδος.

#### Πίνακας 4) Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.[12]

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0.33RR$	$T \leq 0.33$
A	$0.33RR < EP \leq 0.50RR$	$0.33 < T \leq 0.50$
B+	$0.50RR < EP \leq 0.75RR$	$0.50 < T \leq 0.75$
B	$0.75RR < EP \leq 1.00RR$	$0.75 < T \leq 1.00$
Γ	$1.00RR < EP \leq 1.41RR$	$1.00 < T \leq 1.41$
Δ	$1.41RR < EP \leq 1.82RR$	$1.41 < T \leq 1.82$
E	$1.82RR < EP \leq 2.27RR$	$1.82 < T \leq 2.27$
Z	$2.27RR < EP \leq 2.73RR$	$2.27 < T \leq 2.73$
H	$2.73RR < EP$	$2.73 < T$

Ο δείκτης RR λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι τα ηλίκιο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης.

Τα όρια αυτά σε κάποιες χώρες της Ευρώπης που δεν ανήκουν στην ευρωπαϊκή ένωση όπως η Νορβηγία διαφέρουν και είναι σε κάποιες περιπτώσεις πιο μεγάλα όπως η Κατηγορία A+ και πιο μικρά όπως η Κατηγορία B.[25]

Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία.

Ως κτίριο αναφοράς ορίζεται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. το κτίριο, το οποίο έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο. Το κτίριο αναφοράς πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές και έχει

καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του, όσο και στις Η/Μ εγκαταστάσεις που αφορούν τη θέρμανση – ψύξη – κλιματισμό των εσωτερικών χώρων, την παραγωγή ΖΝΧ και το φωτισμό.

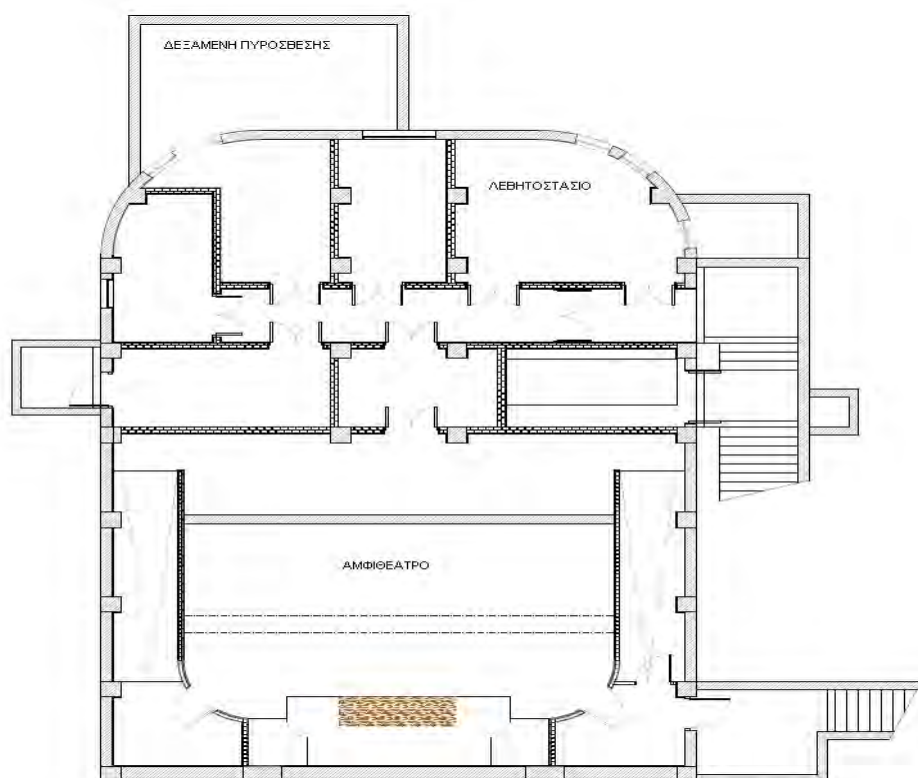
Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δεδομένα του κτιρίου που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα TEE-KENAK, ώστε στη συνέχεια το λογισμικό να εκτελέσει τους απαραίτητους αλγορίθμους, υπολογίζοντας την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, και την κατηγορία ενεργειακής απόδοσης, του εξεταζόμενου κτιρίου στις 4 κλιματικές ζώνες. Οι παράγοντες οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψιν στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου είναι οι παρακάτω:

1. Κατηγορία κτιρίου
2. Θερμικές ζώνες
3. Ωράριο και περίοδος λειτουργίας
4. Επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες των χώρων( θερμοκρασία, υγρασία)
5. Στάθμη φωτισμού και Κατανάλωση ζεστού νερού

#### 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

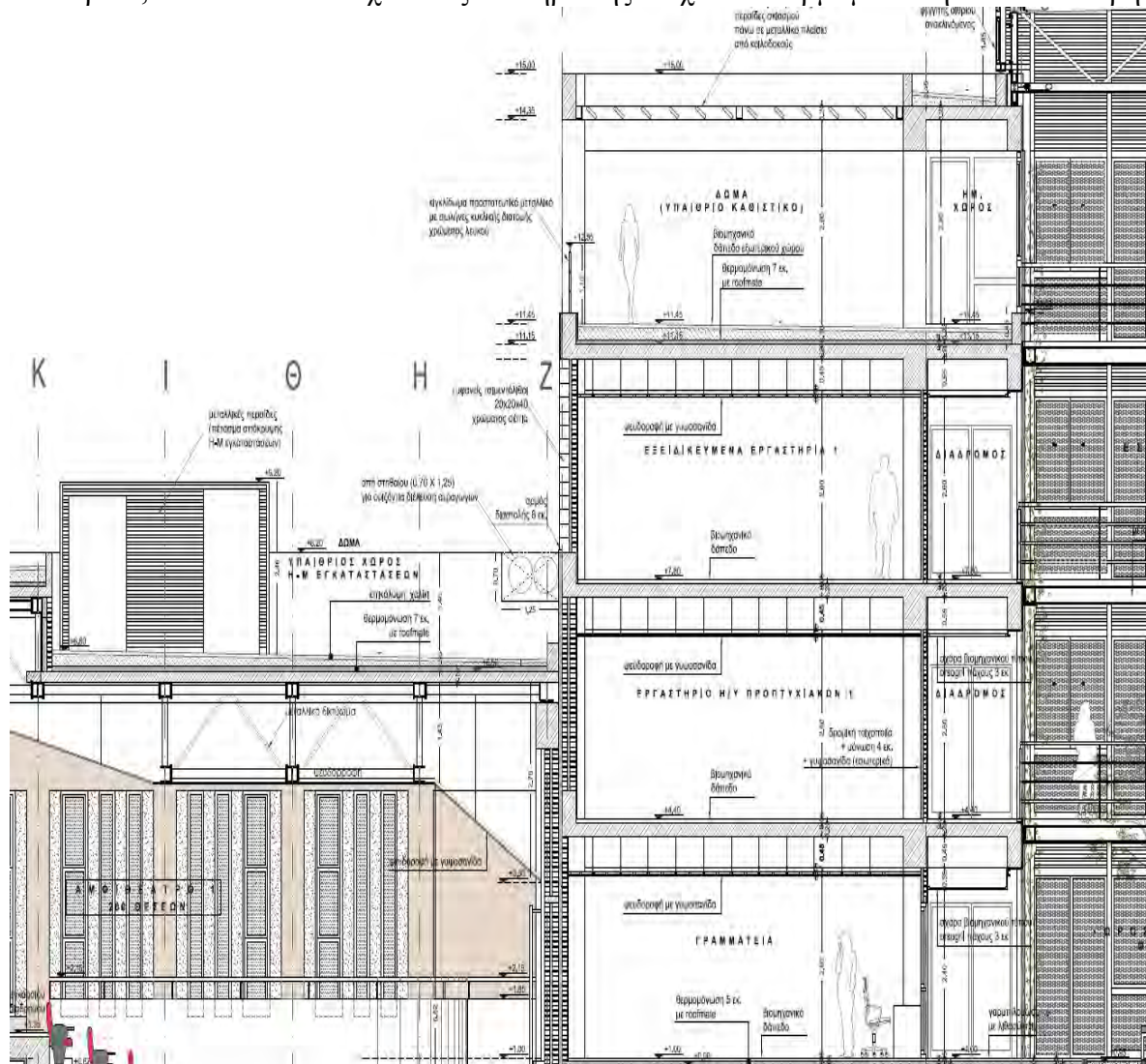
##### 4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το υπό μελέτη κτήριο κατασκευάζεται στο Βόλο , οπότε βάσει του Κ.Εν.Α.Κ. ανήκει στη Β κλιματική ζώνη στη συμβολή των οδών Σέκερη, Αθηνών και Χεύδεν, στην περιοχή του Πεδίου του Άρεως. Πρόκειται για τετραώροφο κτήριο, με ισόγειο και ένα υπόγειο τμήμα. Στο υπόγειο θα βρίσκονται και όλοι οι χώροι Η-Μ εγκαταστάσεων.

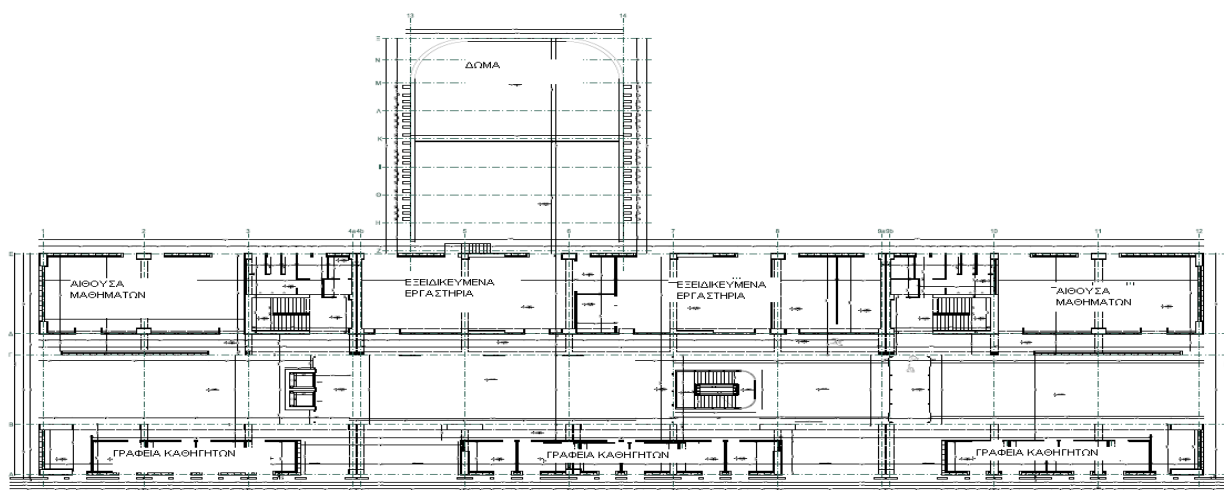


Εικόνα 3) Κάτοψη υπογείου

Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου φέρει θερμομόνωση τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά, ενώ οι τοιχοποιίες πλήρωσης έχουν θερμομόνωση στον πυρήνα.

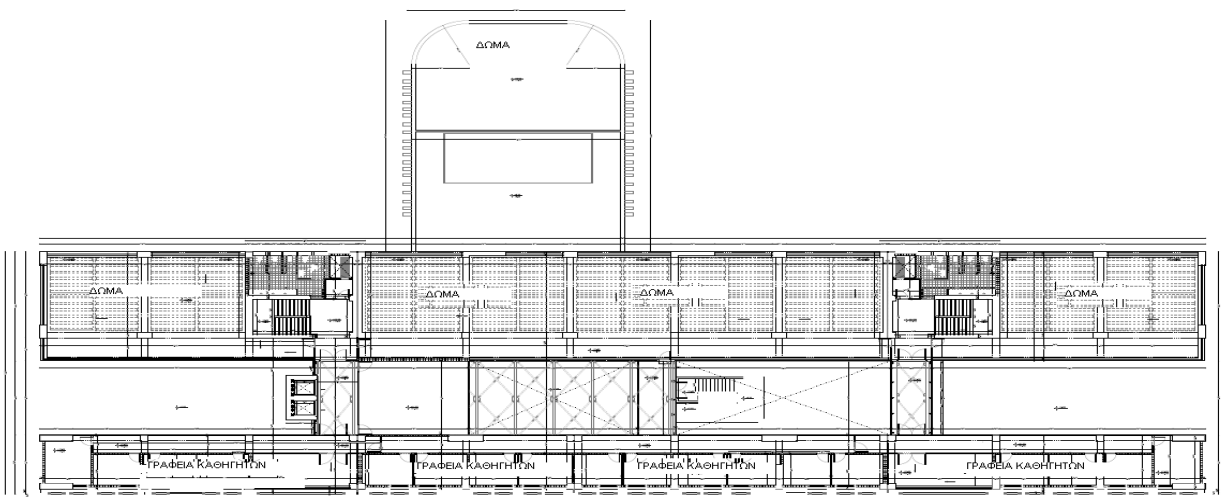


Το δώμα του 2<sup>ου</sup> ορόφου στη βόρεια πτέρυγα, το δώμα του 3ου ορόφου στη νότια πτέρυγα, όπως επίσης και η απόληξη των κλιμακοστασίων αλλά και του εσωτερικού αιθρίου θα θερμομονωθούν από την άνω παρειά τους. Το ίδιο συμβαίνει και στο δώμα του μεγάλου αμφιθεάτρου. Το δάπεδο του 2<sup>ου</sup> ορόφου (πάνω από την πιλωτή) στη νότια πτέρυγα, τα δάπεδα των δύο αμφιθεάτρων στα δύο άκρα της βόρειας πτέρυγας καθώς και το δάπεδο του κεντρικού αμφιθεάτρου, θα θερμομονωθούν στην κάτω παρειά τους.



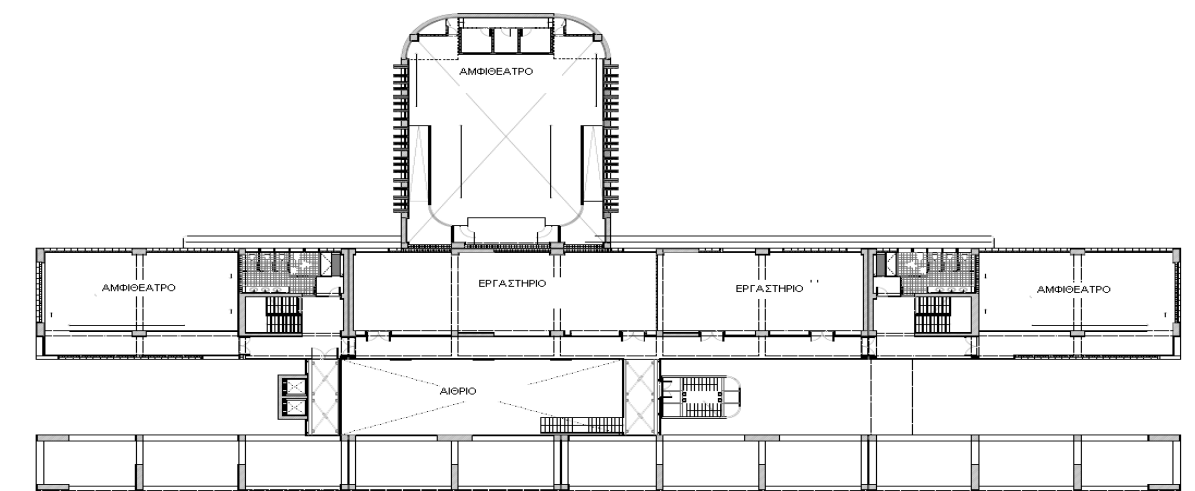
**Εικόνα 5) Κάτοψη Β Ορόφου**

Το δάπεδο του ισογείου, θα θερμομονωθεί στην άνω παρειά του. Οι οροφές των ημιυπαίθριων χώρων του Β' ορόφου θα θερμομονωθούν στην κάτω παρειά τους, λόγω των θερμαινόμενων γραφειακών χώρων του Γ' ορόφου.



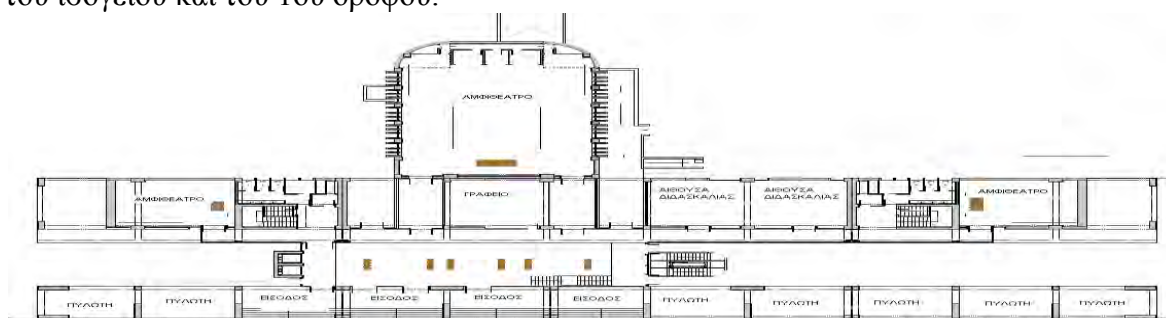
**Εικόνα 6) Κάτοψη Γ Ορόφου**

Γενικά σε όλους τους κυρίως χώρους θα τοποθετηθούν ανοίγματα τα οποία θα προσφέρουν επαρκή φωτισμό. Ειδικά στους χώρους με μεγάλο βάθος θα υπάρχει ειδική πρόνοια να τοποθετηθούν μεγάλα ανοίγματα.



**Εικόνα 7) Κάτοψη Α Ορόφου**

Μεγάλα υαλοστάσια ενισχύουν το φυσικό φωτισμό στους διαδρόμους κίνησης του κτιρίου. Επιπλέον ο φυσικός φωτισμός ενισχύεται και από την περιμετρική απόληξη του εσωτερικού αιθρίου αλλά και από τη διώροφη γυάλινη περιμετρική του επιφάνεια στο ύψος του ισόγειου και του 1ου ορόφου.



**Εικόνα 8) Κάτοψη Ισογείου**

Το παθητικό σύστημα που επιλέχθηκε να ενσωματωθεί στο σχεδιασμό του κτηρίου είναι αυτό του άμεσου κέρδους. Ο νότιος προσανατολισμός του κτηρίου αποκλίνει λίγο από το βέλτιστο καθαρά νότιο. Στη νότια όψη των γραφείων τα ανοίγματα καταλαμβάνουν ποσοστό 38% της όψης, ενώ εξίσου μεγάλο ποσοστό καταλαμβάνουν τα υαλοστάσια στη νότια πλευρά της πτέρυγας των αιθουσών. Το οικόπεδο στο οποίο θα ανεγερθεί το κτήριο είναι τριγωνικού



σχήματος με το μεγάλο του άξονα σε απόκλιση κατά γωνία  $20^{\circ}$  από τον άξονα Ανατολής - Δύσης. Το οικοπέδο καταλαμβάνει ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο και βρίσκεται σε σχετικά αραιοδομημένο αστικό περιβάλλον, με σχετικά χαμηλά κτήρια των δύο ή τριών ορόφων.



Εικόνα 9) Τοπογραφία Οικοπέδου Κτηρίου[Googlemaps]

Στον περιβάλλοντα χώρο δεν υπάρχουν άλλες κτηριακές κατασκευές, εκτός από τα κτίρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας νότια της οδού Σέκερη. Ειδικότερα, η βορειοανατολική πλευρά του οικοπέδου γειτνιάζει με την οδό Χεύδεν, πλάτους 7m, η νότια γειτνιάζει με την οδό Σέκερη, πλάτους 10.50m, η βορειοδυτική με την οδό Αθηνών πλάτους 22m.

Βόρεια του οικοπέδου υπάρχουν αδόμητες εκτάσεις χαρακτηρισμένες ως πάρκα. Τα υφιστάμενα κτίρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας βρίσκονται νότια της οδού Σέκερη, σε απόσταση 39 μέτρων από το υπό ανέγερση κτίριο και είναι διώροφα.

Η θέση του κτηρίου θα ευνοεί τον ηλιασμό, κυρίως του δώματος αλλά και των κατακόρυφων όψεων. Το κτίριο εκτείνεται κατά μήκος του άξονα Ανατολής - Δύσης με τη μεγάλη του πλευρά προς το Νότο. Το δώμα του κτηρίου θα διαθέτει αρκετό χώρο ελεύθερο με δυνατότητα επαρκούς ηλιασμού.

Το μεγάλο οικόπεδο ευνοεί τη φύτευσή του και τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου ούτως ώστε να βελτιωθεί το μικροκλίμα της περιοχής. Θα φυτευτούν δέντρα και χαμηλή βλάστηση και στα τμήματα ανάμεσα στις δύο πτέρυγες. Επιπλέον το φυσικό στοιχείο θα εισέρχεται και στο εσωτερικό αίθριο όπου θα φυτευτούν δέντρα.

Η πιο σημαντική περιβαλλοντική διάσταση του σχεδιασμού του κτηρίου βρίσκεται στο στεγασμένο αίθριο, στην ενδιάμεση ζώνη ανάμεσα στις δύο πτέρυγες, όπου η ίδια η φύση με τα μαλακά χωμάτινα δάπεδα και την φύτευση δένδρων διεισδύει τόσο στον υπαίθριο

εσωτερικό χώρο όσο και στον κλειστό κοινόχρηστο. Ο χώρος αυτός δίνει την δυνατότητα κίνησης του θερμού αέρα προς τα πάνω την απαγωγή του από τους περιφερειακούς φεγγίτες της στέγης επιτυγχάνοντας έτσι φυσικό δροσισμό του κτιρίου και τη συνολική βελτίωση του μικροκλίματός του.,

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου είναι απαραίτητα τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου, καθώς επάνω σε αυτά απεικονίζονται οι θερμικές ζώνες του κτηρίου, και τα γεωμετρικά δεδομένα των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων, που ορίζουν τις επιφάνειες κάθε θερμικής ζώνης. Τα γεωμετρικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς τόσο της ενεργειακής μελέτης, είναι οι επιφάνειες όλων των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων ανά θερμική ζώνη και προσανατολισμό, τα μήκη των θερμογεφυρών καθώς και ο όγκος του κτηρίου.[46]

Για όλους τους υπολογισμούς γίνεται χρήση των εξωτερικών διαστάσεων για όλα τα δομικά στοιχεία κατά την ισχύουσα νομοθεσία. Σύμφωνα με την παράγραφο 2(α) του άρθρου 9 του Κ.Εν.Α.Κ., τόσο στη μελέτη ενεργειακής απόδοσης, όσο και στην ενεργειακή επιθεώρηση ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου αναφοράς ορίζεται ίσος με το μέγιστο επιτρεπόμενο ανά δομικό στοιχείο και κλιματική ζώνη.[32] Επίσης ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου αναφοράς  $U_m$  δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που δίνονται στον πίνακα 3. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., στο κτήριο αναφοράς τα δομικά στοιχεία αντικαθίστανται με συμβατικά ίδιων διαστάσεων και συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  ίσο με το μέγιστο επιτρεπτό της κλιματικής ζώνης, στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο.[23]

## 4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Για την μελέτη επίδρασης του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου επιλέχθηκαν οκτώ(8) διαφορετικές περιπτώσεις που παρουσιάζονται παρακάτω:

**Στο 1<sup>ο</sup> Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν συντελεστές θερμοπερατότητας (με βάση τον κανονισμό θερμομονωσης Π.Δ 1/6/1979) μεγαλύτεροι από τους μέγιστους επιτρεπόμενους των τεσσάρων ζωνών που προκύπτουν από τον κανονισμό ΤΟΤΕΕ 20701-2/2017 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων» για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του εξεταζόμενου κτιρίου. Οι συντελεστές αυτοί είναι συντελεστές ενός αμονωτου κτιρίου εξεταζόμενο στην ζώνη Β όπως αυτοί απεικονίζονται στον πίνακα 5.

**Πίνακας 5) Συντελεστές αμόνωντου κτιρίου εξεταζόμενο στην ζώνη Β με βάση τον κανονισμό θερμομονωσης 1979**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία μπατική οπτοπλινθοδομή χωρίς μόνωση	$U_{TA}$	1.57
Ανοίγματα από συνθετικά κουφώματα χωρίς μόνωση με απλό υαλοπίνακα	$U_{VF}$	4.9
Πόρτες από συνθετικό κούφωμα μη αεροστεγές	$U_W$	2.7
Υποστυλώματα και τοιχία χωρίς μόνωση	$U_U$	3.16
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος πάχους	$U_{FA}$	1.75
Δάπεδο σε πυλωτή χωρίς μόνωση	$U_{FB}$	1.75
Στέγη οροφή χωρίς μόνωση	$U_R$	1.85



**Στο 2<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Α

**Πίνακας 6) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Α**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.6
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	3.2
Πόρτες	U <sub>W</sub>	3.2
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.6
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	1.2
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.5
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.6

**Στο 3<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Β

**Πίνακας 7) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Β**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.5
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	3.0
Πόρτες	U <sub>W</sub>	3.0
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.5
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	0.9
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.45
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.5

**Στο 4<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Γ

**Πίνακας 8) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Γ**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ			W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία		U <sub>TA</sub>	0.45
Ανοίγματα		U <sub>VF</sub>	2.8
Πόρτες		U <sub>W</sub>	2.8
Υποστυλώματα και τοιχία		U <sub>U</sub>	0.45
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος		U <sub>FA</sub>	0.75
Δάπεδο σε πυλωτή		U <sub>FB</sub>	0.4
Στέγη οροφή		U <sub>R</sub>	0.45

**Στο 5<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Δ

**Πίνακας 9) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ζώνης Δ**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.4
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	2.6
Πόρτες	U <sub>W</sub>	2.6
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.4
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	0.7
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.35
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.4

**Στο 6<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ιρλανδίας  
**Πίνακας 10) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Ιρλανδίας [22] [48]**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.27
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	2
Πόρτες	U <sub>W</sub>	2
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.27
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	0.25
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.25
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.22

**Στο 7<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Γερμανίας.  
**Πίνακας 11) Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές της Γερμανίας [47]**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.23
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	1.3
Πόρτες	U <sub>W</sub>	1.3
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.23
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	0.34
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.34
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.41

**Στο 8<sup>ο</sup>Σενάριο** χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές του κτιρίου όπως ακριβώς θα κατασκευαστεί.

**Πίνακας 12) Συντελεστές του κτιρίου όπως θα κατασκευαστεί [KENAK]**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ		W/m <sup>2</sup> K
Τοιχοποιία	U <sub>TA</sub>	0.2983
Ανοίγματα	U <sub>VF</sub>	1.48
Πόρτες	U <sub>W</sub>	2.2
Υποστυλώματα και τοιχία	U <sub>U</sub>	0.3885
Δάπεδο σε φυσικό έδαφος	U <sub>FA</sub>	0.3680
Δάπεδο σε πυλωτή	U <sub>FB</sub>	0.3680
Στέγη οροφή	U <sub>R</sub>	0.32

#### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Σημειώνεται πως εξετάστηκαν και τα 8 σενάρια θερμομονωτικής επάρκειας του κτιρίου για την πόλη του Βόλου με τα κλιματολογικά δεδομένα της ζώνης Β. Έγινε ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου για τις 8 παραπάνω περιπτώσεις. Στα 8 σενάρια θερμομόνωσης συγκρίθηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας U<sub>m</sub> του κτιρίου όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς με τον μέγιστο επιτρεπόμενο U<sub>m-max</sub> της Ζώνης Β το

οποίο υπολογιστικό από τον λόγο  $A/V = 4959,19 \text{ τ.μ.}/11533,5 \text{ κ.μ.} = 0,43$ . Από τον πίνακα 3 προκύπτει ότι για  $A/V=0,43$  το  $U_{m-\max}$  είναι  $1.03 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

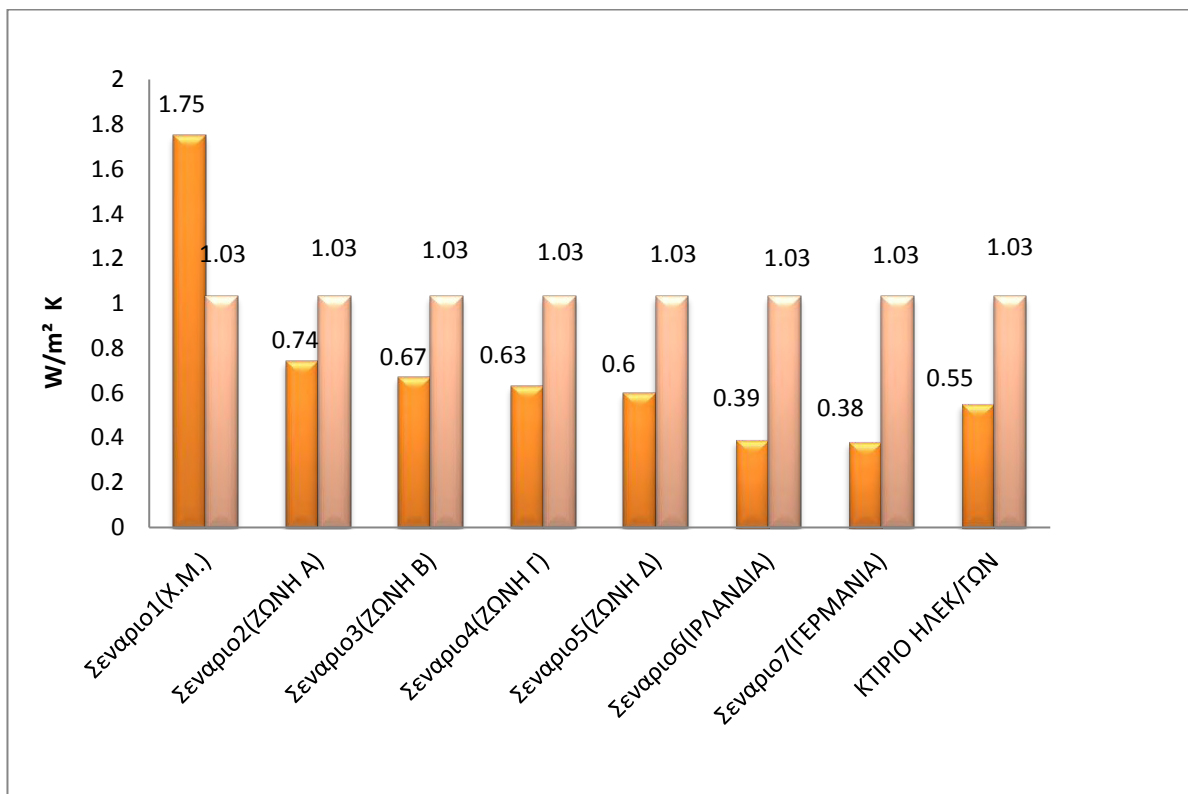
Όπου  $A$  η συνολική εξωτερική επιφάνεια του θερμομονωμένου κτιρίου και  
 $V$  ο συνολικός όγκος των θερμομονωμένων χώρων. [45]

Υπολογίζοντας την ενεργειακή κατανάλωση σε κάθε μια περίπτωση ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών των δομικών στοιχείων του κελύφους όπως αυτά εμφανίζονται στον πίνακα 2 για όλες τις ζώνες καθώς και το αμονωτο κτίριο αλλά και για τις δυο Ευρωπαϊκές χώρες της Ιρλανδίας και της Γερμανίας υπολογίσαμε το  $U_m$  για όλα τα σενάρια που μελετάμε. Όλοι οι υπολογισμοί παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 7 στο τέλος της εργασίας.

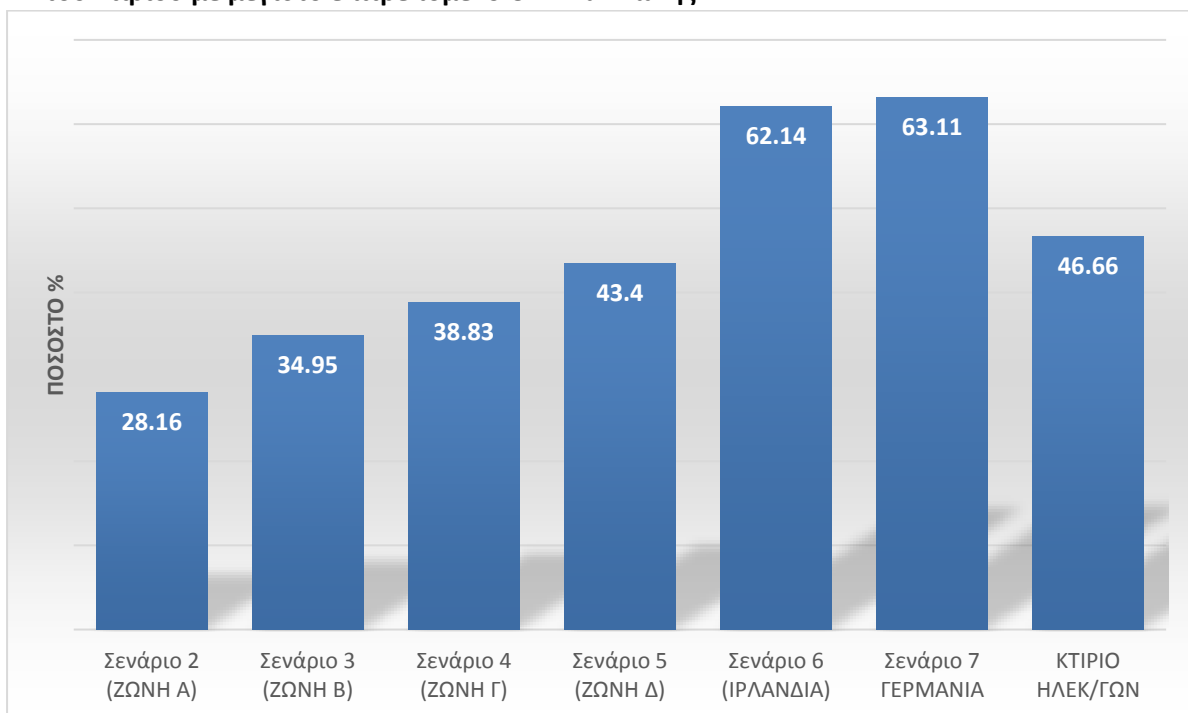
Η χρησιμοποίηση των μέγιστων επιτρεπόμενων συντελεστών θερμοπερατότητας για όλα τα δομικά στοιχεία όλων των ζωνών στην ζώνη B είχε ως στόχο να δούμε την επίδραση του πάχους θερμομόνωσης στην τελική κατανάλωση του κτιρίου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 13) Υπολογισμοί  $U_m$  χρησιμοποιώντας τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των δομικών στοιχείων του πίνακα 2**

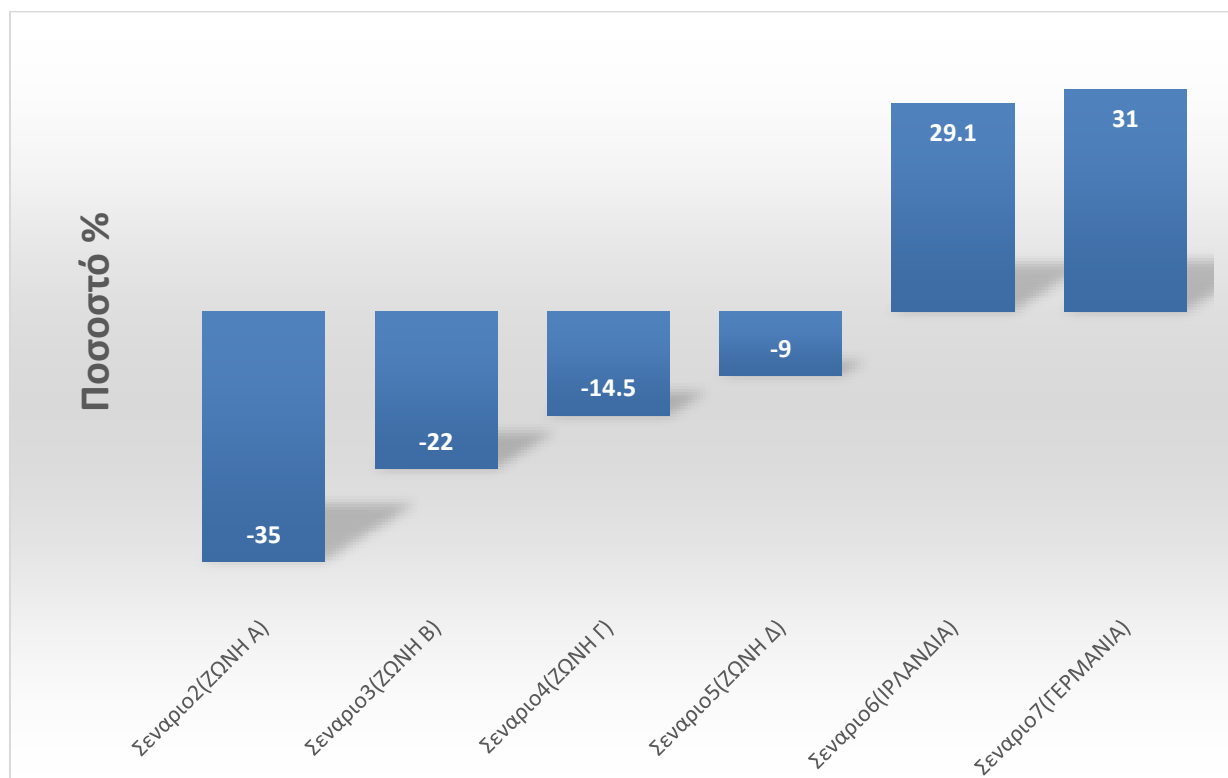
	$U_{TA}$	$U_{VF}$	$U_W$	$U_U$	$U_{FA}$	$U_{FB}$	$U_R$	$U_m$
Σενάριο 1 (Χ.Μ.)	1,57	4,9	2,7	3,16	1,75	1,75	1,85	1,75
Σενάριο 2 (ΖΩΝΗ Α)	0,6	3,2	3,2	0,6	1,2	0,5	0,6	0,74
Σενάριο 3 (ΖΩΝΗ Β)	0,5	3	3	0,5	0,9	0,45	0,5	0,67
Σενάριο 4 (ΖΩΝΗ Γ)	0,45	2,8	2,8	0,45	0,75	0,4	0,45	0,63
Σενάριο 5 (ΖΩΝΗ Δ)	0,4	2,6	2,6	0,4	0,7	0,35	0,4	0,6
Σενάριο 6 (ΙΡΛΑΝΔΙΑ)	0,27	2	2	0,27	0,25	0,25	0,22	0,39
Σενάριο 7 ΓΕΡΜΑΝΙΑ	0,23	1,3	1,3	0,23	0,34	0,34	0,41	0,38
ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΓΩΝ	0,298	1,48	2,2	0,388	0,407	0,407	0,32	0,55



**Σχήμα 9).** Σύγκριση πραγματοποιούμενων συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_m$  του κτιρίου με μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{m-max}$  Ζώνης Β



**Σχήμα 10).** Ποσοστιαία (%) μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_m$  από τον μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{m-max}$  ( $1,03 \text{ kWh/m}^2$ ) της ζώνης Β.



**Σχήμα 11) Ποσοστιαία ( %) μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_m$  με βάση το  $U_m$  του πραγματικού κτιρίου**

**Πίνακας 14) Ποσοστιαία μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας**

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΟΣ $U_m$ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ $U_{m-max}$ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ Β ( %)	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΟΣ $U_m$ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ $U_m$ ΤΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ( %)
Σενάριο 2 (ΖΩΝΗ Α)	28,16	-35
Σενάριο 3 (ΖΩΝΗ Β)	34,95	-22
Σενάριο 4 (ΖΩΝΗ Γ)	38,83	-14,5
Σενάριο 5 (ΖΩΝΗ Δ)	43,40	-9
Σενάριο 6 (ΙΡΛΑΝΔΙΑ)	62,14	29,1
Σενάριο 7 ΓΕΡΜΑΝΙΑ	63,11	31
ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΓΩΝ	46,66	-

Η ποσοστιαία μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  προέκυψε από τον παρακάτω τύπο:

$$Π.Μ1.=1-(U_m/U_{m-max}) \times 100$$

$$Π.Μ2.=1-(U_m/U_m \text{ πραγματικού κτιρίου}) \times 100$$

Η μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας σημαίνει καλύτερη θερμομονωτική προστασία του κτιρίου και συγχρόνως μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του.

Στο σενάριο 1 ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_m$  ξεπερνά τον μέγιστο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_{m-max}$  και δεν εξετάζεται ποσοστιαία.

Από τα σχήματα 9, 10 και 11 συμπεραίνουμε ότι οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση είναι ικανοί να αντιμετωπίσουν με επιτυχία την θωράκιση του κτιριακού κελύφους για την ζώνη Β. Το ίδιο συμβαίνει και για τις άλλες δυο Ευρωπαϊκές χώρες. Στην περίπτωση του μη θερμομονωμένου κτιρίου (Σενάριο 1) παρατηρούμε ότι το κτίριο δεν προστατεύεται σε καμία περίπτωση για τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην χώρα μας.

Η ποσοστιαία % μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_m$  με βάση τον μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{m-max}$  της ζώνης Β όπως φαίνεται στο σχήμα 10 είναι μεγαλύτερη στα κτίρια της Γερμανίας και της Ιρλανδίας. Στο σχήμα 11 η ποσοστιαία μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας  $U_m$  με σύγκριση το πραγματοποιούμενο  $U_m$  είναι ως αναφορά τους συντελεστές των άλλων ζωνών αρνητικό που σημαίνει ότι η μόνωση του πραγματοποιούμενου κτιρίου είναι καλύτερη ενώ σε σύγκριση με τους συντελεστές της Γερμανίας και Ιρλανδίας θετικό που σημαίνει ότι η μόνωση είναι δυσμενέστερη.

Από τα παραπάνω επίσης προκύπτει ότι η μεγαλύτερη διαφορά υπήρξε στα κτίρια με τα δεδομένα της Γερμανίας και της Ιρλανδίας. Αυτό σημαίνει ότι το κτιριακό κέλυφος σ' αυτές τις χώρες προστατεύεται καλύτερα διότι οι απαιτήσεις της θερμομόνωσης των κτιρίων τους δηλαδή οι μέγιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας είναι αυστηρότεροι. Βέβαια για να πέτυχουν τέτοιους συντελεστές θερμοπερατότητας χρησιμοποιούν υλικά υψηλών προδιαγραφών με πολύ χαμηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας. Στο μη θερμομονωμένο κτίριο η διαφορά είναι αρνητική.

Από τα δύο σχήματα 9 και 10 φαίνεται επίσης ότι οι διαφορές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δυο αυτών χωρών (Γερμανία & Ιρλανδία) δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές των (4) ελληνικών ζωνών. Η διαφορά είναι της τάξης του 20% περίπου που σημαίνει ότι και στην Ελλάδα τα μέτρα θερμοπροστασίας του κτιριακού κελύφους είναι αρκετά απαιτητικά.

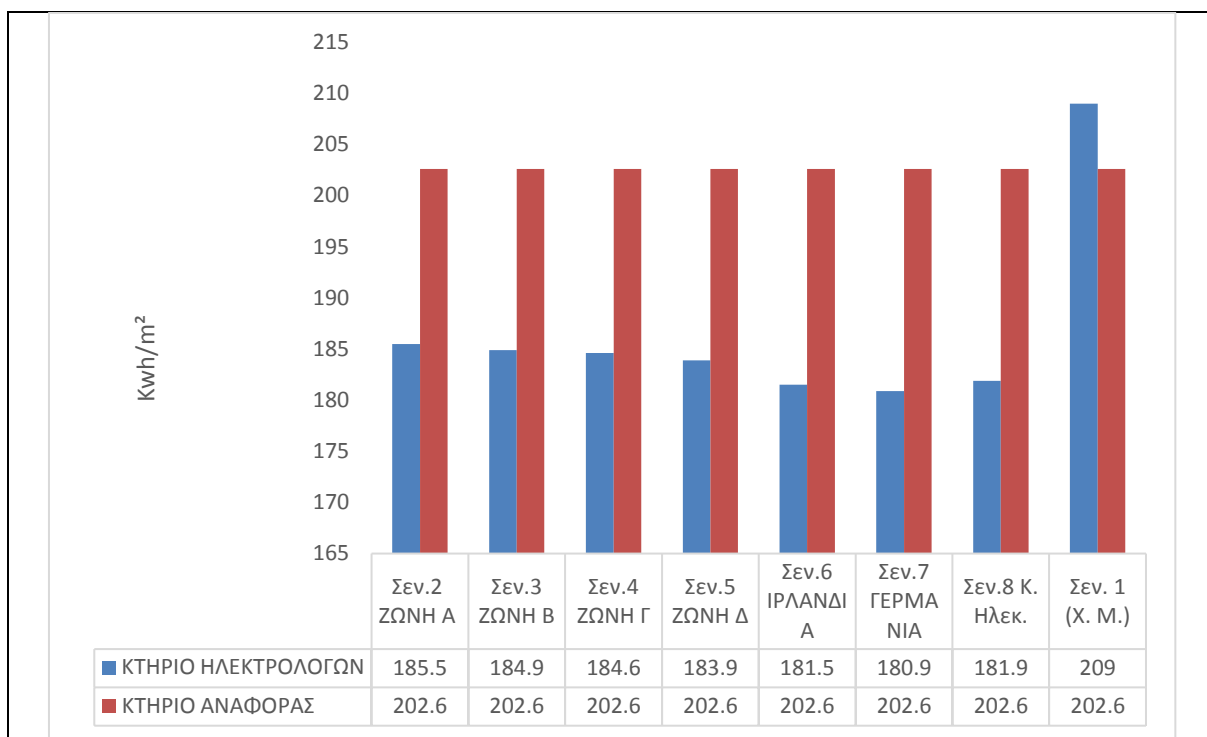
#### 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Από τους υπολογισμούς της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (μονάδες) του κτιρίου με βάση την ενεργειακή μελέτη έγινε η κατάταξη του στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης. Για την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **EnergyBuilding της civiltech** βασισμένο στο λογισμικό του TEE-KENAK. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών όπως τα παρουσιάζει το πρόγραμμα του TEE για τα 8 διαφορετικά σενάρια θερμομόνωσης. Οι υπολογισμοί έγιναν για την ζώνη Β για κάθε διαφορετική περίπτωση θερμομόνωσης.

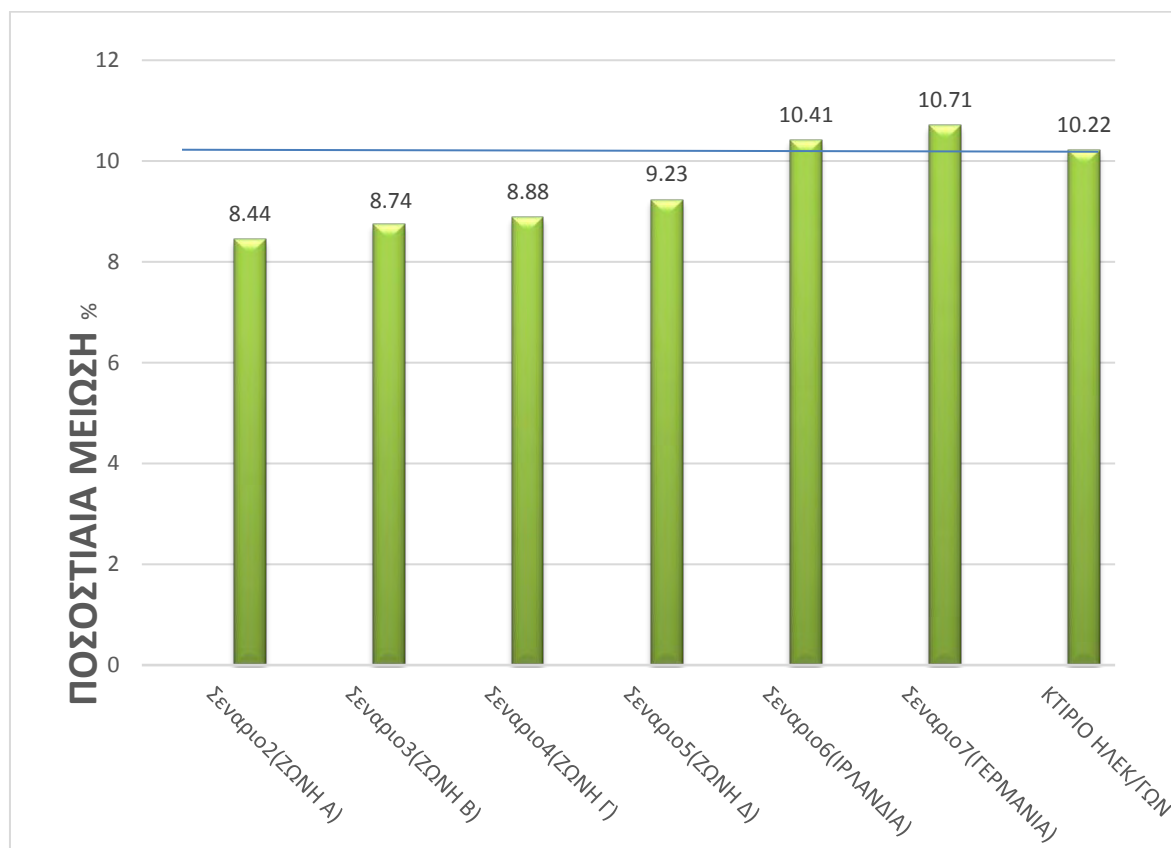
<p>Πίνακας 15) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Α</p>		<p>Πίνακας 16) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Β</p>	
<p>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</p> <p><math>A+ &lt; 0,33</math></p> <p><math>0,33 &lt; A \leq 0,5</math></p> <p><math>0,50 &lt; B+ \leq 0,75</math></p> <p><math>0,75 &lt; B \leq 1,00</math></p> <p><math>1,00 &lt; \Gamma \leq 1,41</math></p> <p><math>1,41 &lt; \Delta \leq 1,82</math></p> <p><math>1,82 &lt; E \leq 2,27</math></p> <p><math>2,27 &lt; Z \leq 2,73</math></p> <p><math>2,73 \leq H</math></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>185,50 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>	<p>0,92</p>	<p>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</p> <p><math>A+ &lt; 0,33</math></p> <p><math>0,33 &lt; A \leq 0,5</math></p> <p><math>0,50 &lt; B+ \leq 0,75</math></p> <p><math>0,75 &lt; B \leq 1,00</math></p> <p><math>1,00 &lt; \Gamma \leq 1,41</math></p> <p><math>1,41 &lt; \Delta \leq 1,82</math></p> <p><math>1,82 &lt; E \leq 2,27</math></p> <p><math>2,27 &lt; Z \leq 2,73</math></p> <p><math>2,73 \leq H</math></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>184,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,60 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>	<p>0,91</p>
<p>Πίνακας 17) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Γ</p>		<p>Πίνακας 18) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ζώνης Δ</p>	
<p>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</p> <p><math>A+ &lt; 0,33</math></p> <p><math>0,33 &lt; A \leq 0,5</math></p> <p><math>0,50 &lt; B+ \leq 0,75</math></p> <p><math>0,75 &lt; B \leq 1,00</math></p> <p><math>1,00 &lt; \Gamma \leq 1,41</math></p> <p><math>1,41 &lt; \Delta \leq 1,82</math></p> <p><math>1,82 &lt; E \leq 2,27</math></p> <p><math>2,27 &lt; Z \leq 2,73</math></p> <p><math>2,73 \leq H</math></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>184,60 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>	<p>0,91</p>	<p>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</p> <p><math>A+ &lt; 0,33</math></p> <p><math>0,33 &lt; A \leq 0,5</math></p> <p><math>0,50 &lt; B+ \leq 0,75</math></p> <p><math>0,75 &lt; B \leq 1,00</math></p> <p><math>1,00 &lt; \Gamma \leq 1,41</math></p> <p><math>1,41 &lt; \Delta \leq 1,82</math></p> <p><math>1,82 &lt; E \leq 2,27</math></p> <p><math>2,27 &lt; Z \leq 2,73</math></p> <p><math>2,73 \leq H</math></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>183,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,60 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>	<p>0,91</p>



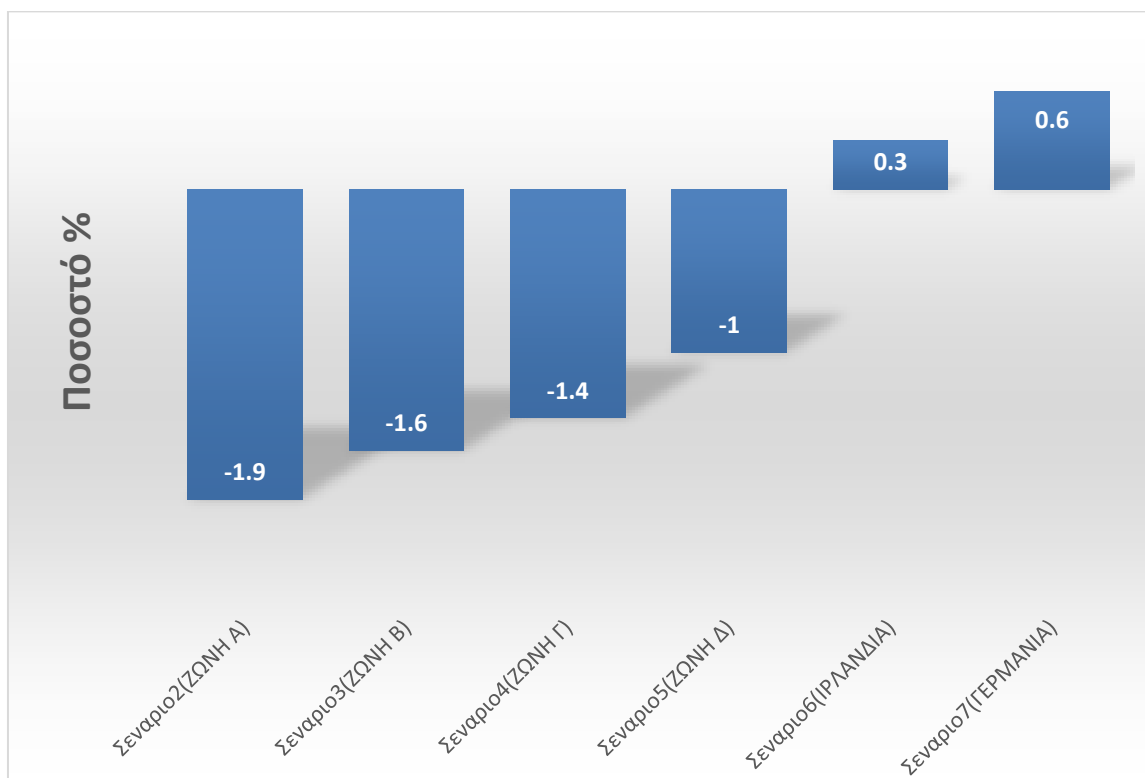
<p>Πίνακας 19) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Ιρλανδίας</p>		<p>Πίνακας 20) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Γερμανίας</p>	
<p><b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b></p> <p><b>A+ &lt; 0,33</b></p> <p><b>0,33 &lt; A ≤ 0,5</b></p> <p><b>0,50 &lt; B+ ≤ 0,75</b></p> <p><b>0,75 &lt; B ≤ 1,00</b> 0,90</p> <p><b>1,00 &lt; Γ ≤ 1,41</b></p> <p><b>1,41 &lt; Δ ≤ 1,82</b></p> <p><b>1,82 &lt; E ≤ 2,27</b></p> <p><b>2,27 &lt; Z ≤ 2,73</b></p> <p><b>2,73 ≤ H</b></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>181,50 kWh/m<sup>2</sup></b></p> <p>202,70 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>		<p><b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b></p> <p><b>A+ &lt; 0,33</b></p> <p><b>0,33 &lt; A ≤ 0,5</b></p> <p><b>0,50 &lt; B+ ≤ 0,75</b></p> <p><b>0,75 &lt; B ≤ 1,00</b> 0,89</p> <p><b>1,00 &lt; Γ ≤ 1,41</b></p> <p><b>1,41 &lt; Δ ≤ 1,82</b></p> <p><b>1,82 &lt; E ≤ 2,27</b></p> <p><b>2,27 &lt; Z ≤ 2,73</b></p> <p><b>2,73 ≤ H</b></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>180,90 kWh/m<sup>2</sup></b></p> <p>202,60 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>	
<p>Πίνακας 21) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου των ηλεκτρολόγων όπως θα κατασκευαστεί.</p>		<p>Πίνακας 22) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του Σεναρίου 1 χωρίς καμία μόνωση.</p>	
<p><b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b></p> <p><b>A+ &lt; 0,33</b></p> <p><b>0,33 &lt; A ≤ 0,5</b></p> <p><b>0,50 &lt; B+ ≤ 0,75</b></p> <p><b>0,75 &lt; B ≤ 1,00</b> 0,90</p> <p><b>1,00 &lt; Γ ≤ 1,41</b></p> <p><b>1,41 &lt; Δ ≤ 1,82</b></p> <p><b>1,82 &lt; E ≤ 2,27</b></p> <p><b>2,27 &lt; Z ≤ 2,73</b></p> <p><b>2,73 ≤ H</b></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>181,90 kWh/m<sup>2</sup></b></p> <p>202,60 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>B</b></p>		<p><b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b></p> <p><b>A+ &lt; 0,33</b></p> <p><b>0,33 &lt; A ≤ 0,5</b></p> <p><b>0,50 &lt; B+ ≤ 0,75</b></p> <p><b>0,75 &lt; B ≤ 1,00</b></p> <p><b>1,00 &lt; Γ ≤ 1,41</b> 1,03</p> <p><b>1,41 &lt; Δ ≤ 1,82</b></p> <p><b>1,82 &lt; E ≤ 2,27</b></p> <p><b>2,27 &lt; Z ≤ 2,73</b></p> <p><b>2,73 ≤ H</b></p> <p>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</p> <p><b>209,00 kWh/m<sup>2</sup></b></p> <p>202,70 kWh/m<sup>2</sup></p> <p><b>Γ</b></p>	



**Σχήμα 11) Ετήσια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας του κτιρίου Ηλεκτρολόγων και για τα Οκτώ (8) Σενάρια και Σύγκριση αυτού με το Κτίριο Αναφοράς**



**Σχήμα 12) Ποσοστιαία μείωση (%) της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μας ως προς το κτίριο αναφοράς για όλα τα σενάρια.**



**Σχήμα 13) Ποσοστιαία μείωση (%) της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου μας για όλα τα σενάρια ως προς το πραγματοποιούμενο κτίριο.**

Βλέπουμε λοιπόν ότι το κτίριο ενεργειακά σε κάθε περίπτωση κατατάσσεται στην κατηγορία Β αρκετά κοντά στα ανώτατα όρια της κατηγορίας αυτής. Η ενέργεια αυτή είναι λιγότερη από αυτή που απαιτείται για το κτίριο αναφοράς που σημαίνει ότι το κτίριο μας είναι καλά θωρακισμένο, λειτουργικά και ενεργειακά αναβαθμισμένο και αποδοτικό σε κάθε περίπτωση.

Από τα σχήματα 12 και 13 παρατηρούμε ότι το κτίριο ηλεκτρολόγων βρίσκεται πολύ κοντά στο κτίριο με τα δεδομένα της Γερμανίας και της Ιρλανδίας αλλά λιγότερο αποδοτικό. Αντίθετα συγκρίνοντας το με τα δεδομένα των μέγιστων επιτρεπόμενων συντελεστών θερμοπερατότητας των τεσσάρων άλλων ζωνών παρατηρούμε ότι είναι πιο αποδοτικό.

Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων όμως δεν είναι μόνον η αύξηση της θερμομόνωσης στα κύρια δομικά στοιχεία του κελύφους ( Θωράκιση του κτιρίου), αλλά και στις εγκαταστάσεις (κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας). [32]

Ο στόχος λοιπόν της ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία του κτηρίου. Έτσι λοιπόν η σωστή επιλογή κατάλληλων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης με την κατά το δυνατόν ελάχιστη κατανάλωση (ανοιγμένης) πρωτογενούς ενέργειας καθώς επίσης η χρήση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) όπως ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά συστήματα, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εδάφους, υπόγειων και επιφανειακών νερών) κ. ά. και η εφαρμογή διατάξεων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, για τον περιορισμό της άσκοπης χρήσης τους μπορεί να δημιουργήσει ένα κτίριο χαμηλής κατανάλωσης.[40]

Στην συνέχεια θα δούμε την συμπεριφορά του κτιρίου χρησιμοποιώντας διαφορετικό μηχανολογικό εξοπλισμό.

## 5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

### 5.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Το σημαντικότερο ίσως στοιχείο σε μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης η ψύξης είναι ο βαθμός απόδοσης και η σωστή διαστασιολόγηση του.[43] Αυτό, μαζί με την σωστή επιλογή της ισχύος του λέβητα της γεωθερμικής αντλίας αλλά και των ψυκτών αποτελεί προϋπόθεση για την μείωση της κατανάλωσης σε πρωτογενή ενέργεια.[21]

Κατά το σχεδιασμό (διαστασιολόγηση) των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων (θέρμανσης, ψύξης και αερισμού) ελήφθησαν υπόψη οι ελάχιστες προδιαγραφές για τα Η-Μ όπως καθορίζονται από τον Κ.Εν.Α.Κ. και επιλέχθηκαν τεχνολογίες που να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε πλήρη και μερικά φορτία κατά τη θέρμανση ή ψύξη.

#### ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Το σύστημα ψύξης και θέρμανσης αποτελείται από τις γεωθερμικές αντλίες, τους λέβητες και τους αντίστοιχους συμβατικούς αερόψυκτους ηλεκτρικούς ψύκτες. Η επιλογή των συστημάτων έγινε με τρόπο ώστε οι γεωθερμικές αντλίες να καλύπτουν περίπου 50% των φορτίων ψύξης και θέρμανσης και οι λέβητες και οι συμβατικοί ψύκτες να καλύπτουν τις αιχμές του φορτίου ψύξης.[38]

Μέσω κεντρικού συλλέκτη θα αναχωρούν τα δίκτυα προς τις κλιματιστικές μονάδες και τα δίκτυα fancoils των χώρων του κτηρίου.

Τα δίκτυα των fancoils είναι κοινά και καλύπτουν τόσο τα φορτία ψύξης όσο και θέρμανσης. Για το λόγο αυτό οι κυκλοφορητές υποστήριξης των δικτύων θα είναι ηλεκτρονικοί.

Οι μονάδες fancoils θα καλύπτουν αφενός μεν το απαιτούμενο φορτίο ψύξης και θέρμανσης λόγω θερμοπερατότητας αλλά και μέρος του φορτίου αερισμού που δεν ανακτάται από τους ανάλλακτες αέρα.

#### ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Στα κτήρια του τριτογενούς τομέα επιβάλλεται να εφαρμόζεται μηχανικός αερισμός (μέσω κεντρικών κλιματιστικών μονάδων ή/και μέσω μηχανικού αερισμού προσαγωγής νωπού ή/και μέσω συστήματος εξαερισμού), ώστε να καλύπτεται η απαίτηση για νωπό αέρα, όπως ορίζεται στα παρακάτω [13]

ΓΡΑΦΕΙΑ 11 [ m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>]

ΑΙΘΟΥΣΕΣ 11 [ m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>]

ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΑ 11 [ m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>]

Τα φορτία αερισμού καλύπτουν ποσοστό περίπου 50% του συνολικού φορτίου ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου. Για την κάλυψη των φορτίων αερισμού χρησιμοποιούνται αφενός

μεν εναλλάκτες αέρα με δυνατότητα ανάκτησης 60%-70%, για τους χώρους των αιθουσών διδασκαλίας, εργαστηρίων, γραφείων, λουτρών καθώς και ΚΚΜ για τον αερισμό των αμφιθεάτρων του κτηρίου.

Ο εναλλάκτης θερμότητας αέρα είναι μία συσκευή που ανανεώνει τον αέρα ενός χώρου προκλιματίζοντάς τον αξιοποιώντας την ενέργεια (θερμότητα) του απορριπτόμενου αέρα. Η ανάκτηση της απορριπτομένης ενέργειας επιτυγχάνεται με την χρήση ενός στοιχείου από αλουμίνιο ή άλλου υλικού με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα.[45] Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε βαθμό ανάκτησης της απορριπτομένης θερμότητας μέχρι και 70%. Ο τρόπος κατασκευής του στοιχείου του εναλλάκτη δεν επιτρέπει την ανάμιξη του φρέσκου νωπού αέρα της εισαγωγής, με τον βρώμικο και γεμάτο οσμές αέρα της εξαγωγής.[36]

Τα συστήματα υλοποιούν αερισμό - εξαερισμό με ταυτόχρονο προκλιματισμό του εισαγόμενου 100% νωπού αέρα. Ειδικά για τους εναλλάκτες το ποσοστό του φορτίου αερισμού που δεν ανακτάται συμπληρώνεται από τα fan coils του χώρου τα οποία διαστασιολογούνται με μεγαλύτερη ισχύ για τον συγκεκριμένο λόγο.

Από τους εναλλάκτες και τις ΚΚΜ αναχωρούν δίκτυα αεραγωγών τα οποία και καταλήγουν σε στόμια προσαγωγής και απαγωγής στους αεριζόμενους χώρους.

Το κτήριο, αναλόγως τη χρήση του, καλύπτει τις ανάγκες του για αερισμό μέσω φυσικού ή τεχνικού αερισμού και σύμφωνα πάντα με τις ελάχιστες απαιτήσεις νωπού αέρα που ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 στην παράγραφο 2.4.3

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ψύξης, θέρμανσης και αερισμού όπως επιλέχθηκαν από τους μελετητές μηχανικούς σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μελέτες ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου αναφέρονται παρακάτω (Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι εγκαταστάσεις τρεις φορές διότι συμμετέχουν σε κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα θέρμανσης ψύξης και μηχανικού αερισμού)

**Πίνακας 23) Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύξης.[ 13]**

Τύπος	Ονομαστική ψυκτική ισχύς [KW]	Δείκτης αποδοτικότητας EER	Καύσιμο
Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	138.0	4.800	Ηλεκτρισμός
2 Αερόψυκτοι ψύκτες	90.0	3.300	Ηλεκτρισμός
Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	85.0	4.800	Ηλεκτρισμός

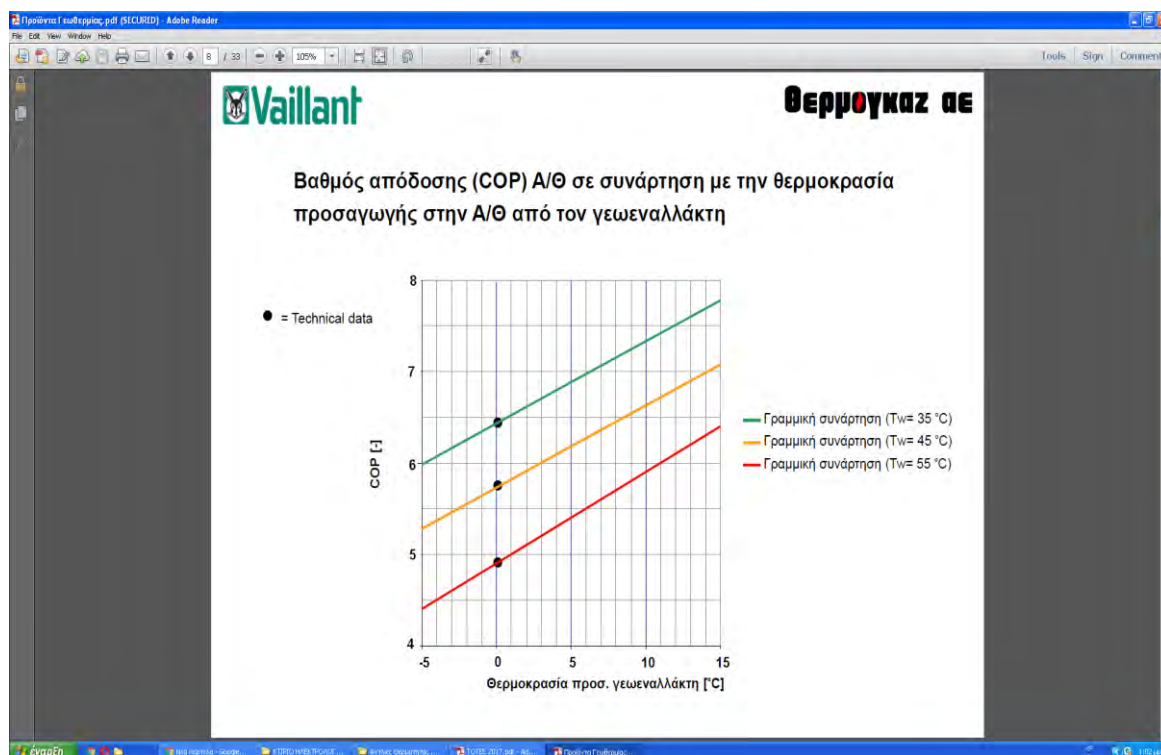
**Πίνακας 24) Στοιχεία συστημάτων Θέρμανσης [ 13 ]**

Τύπος	Ισχύς [KW]	Βαθμός Απόδοσης COP	Καύσιμο
2 μονάδες λέβητα-καυστήρα	120.0	0.920	Φυσικό αέριο
Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	138.0	4.8	Ηλεκτρισμός
Γεωθερμική Α.Θ. με κατακόρυφο εναλλάκτη	85.0	4.8	Ηλεκτρισμός

**Πίνακας 25) Βαθμός απόδοσης συστημάτων θέρμανσης και ψύξης [13 ]**

ΤΥΠΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ EER ΑΠΟ ΚΕΝΑΚ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ EER ΤΟΤΕΕ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ EER ΕΜΠΟΡΙΟΥ
Γεωθερμική Α.Θ με κατακόρυφο εναλλάκτη	138,0	4,8	3,8	7,0
Αερόψυκτος ψύκτης	90	3,3	3,2	3,4
Γεωθερμική Α.Θ	85	4,8	3,8	7,0
ΤΥΠΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ COP ΑΠΟ ΚΕΝΑΚ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ COP ΤΟΤΕΕ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ COP ΕΜΠΟΡΙΟΥ
Μονάδα λέβητα-καυστήρα Φυσικού Αερίου	120,0	0,92	0,91	0,97

Τα στοιχεία των βαθμών απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών έχουν ληφθεί για θερμοκρασία 45°C και για θερμοκρασία γεωεναλλακτη 15° C από την εταιρία ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ για τύπο γεωθερμικών συστημάτων VAILLANT όπως απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα.

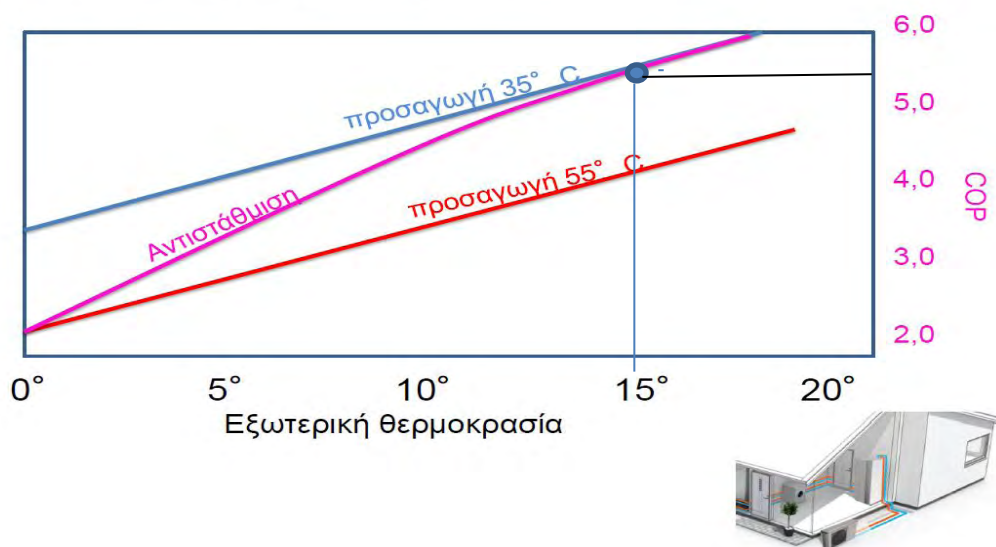


Εικόνα 10) Στοιχεία βαθμών απόδοσης γεωθερμικών αντλιών

Τα στοιχεία των βαθμών απόδοσης των αντλιών θερμότητας COP έχουν ληφθεί για θερμοκρασία  $55^\circ\text{C}$  με αντιστάθμιση και για μέση εξωτερική θερμοκρασία  $15^\circ\text{C}$  από την εταιρία ΘΕΡΜΟΓΚΑΖ για τύπο αντλίας NIBE όπως απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



COP Αντλίας θερμότητας Α/Ν

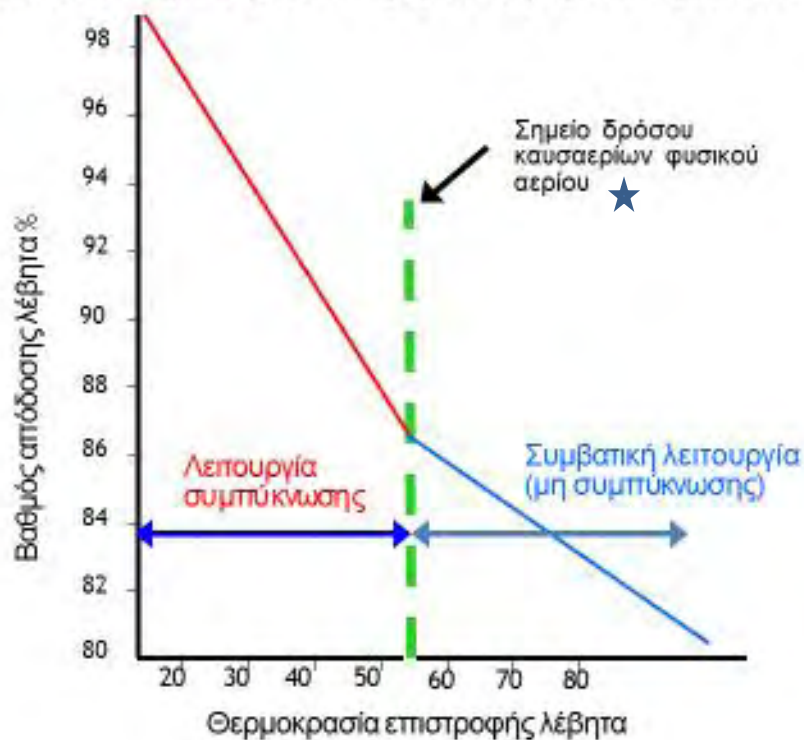


Εικόνα 11) Στοιχεία απόδοσης αντλίας θερμότητας



Τα στοιχεία του βαθμού απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου έχουν ληφθεί από την εταιρία BUDERUS για τον παρακάτω τύπο.

### Απλοποιημένη λειτουργία λέβητα συμπίκνωσης

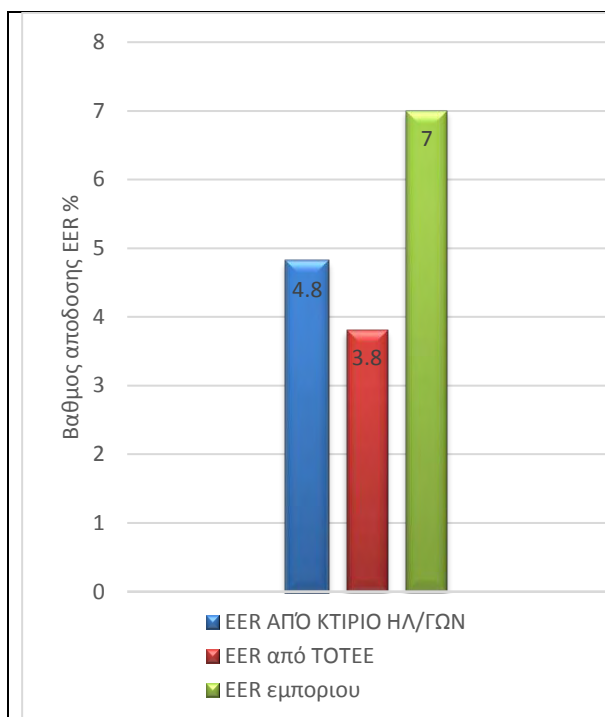


Εικόνα 12) Στοιχεία απόδοσης λέβητα αερίου

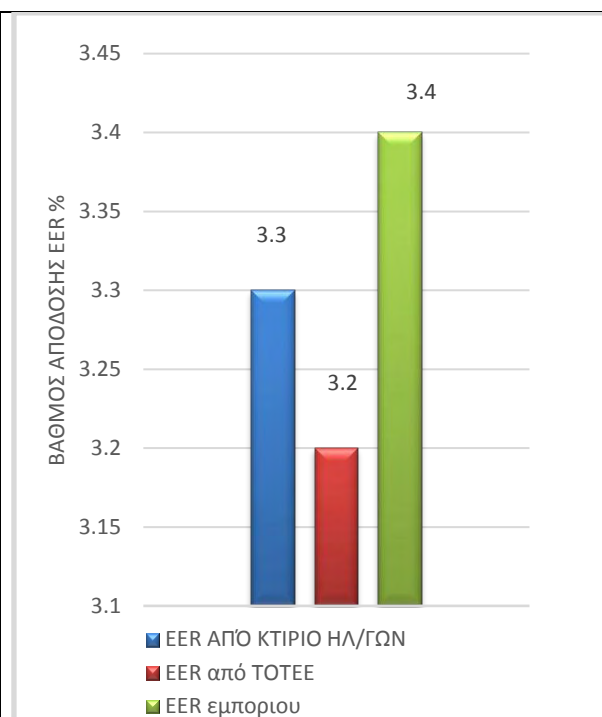
**(EER<sub>rated</sub>) Ο ονομαστικός βαθμός ενεργειακής απόδοσης:** ο λόγος της δηλωμένης ψυκτικής ισχύος [kW] προς την ονομαστική ισχύ εισόδου για ψύξη [kW], όταν η μονάδα ψύχει υπό πρότυπες συνθήκες διαβάθμισης. [13]

**(COP<sub>rated</sub>) Ο ονομαστικός συντελεστής απόδοσης:** ο λόγος της δηλωμένης θερμαντικής ισχύος [kW] προς την ονομαστική ισχύ εισόδου για θέρμανση [kW], όταν η μονάδα θερμαίνει υπό πρότυπες συνθήκες διαβάθμισης. [13]

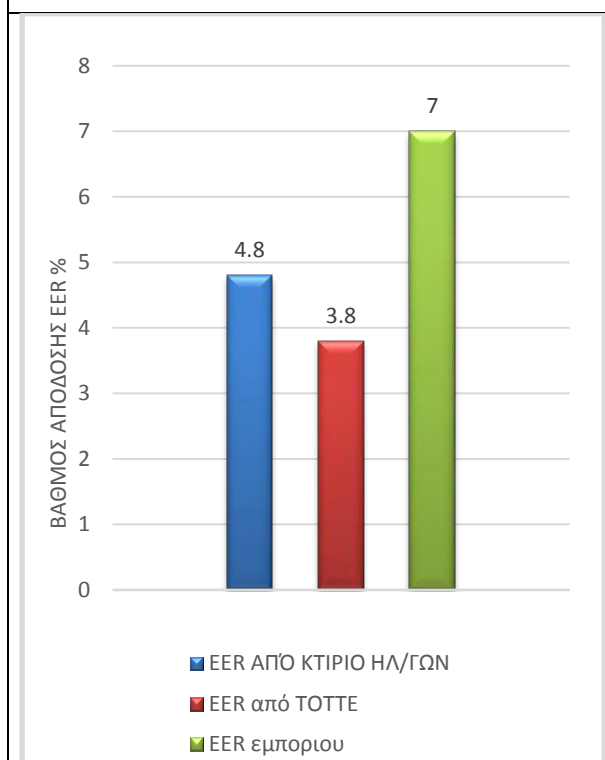
Ο παράγοντας **EER/COP**, που εκφράζει την απόδοση της αντλίας θερμότητας με καθορισμένες θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας. Από τον κατασκευαστή της αντλίας θερμότητας δίνεται η θεωρητική τιμή του EER/COP. [13]



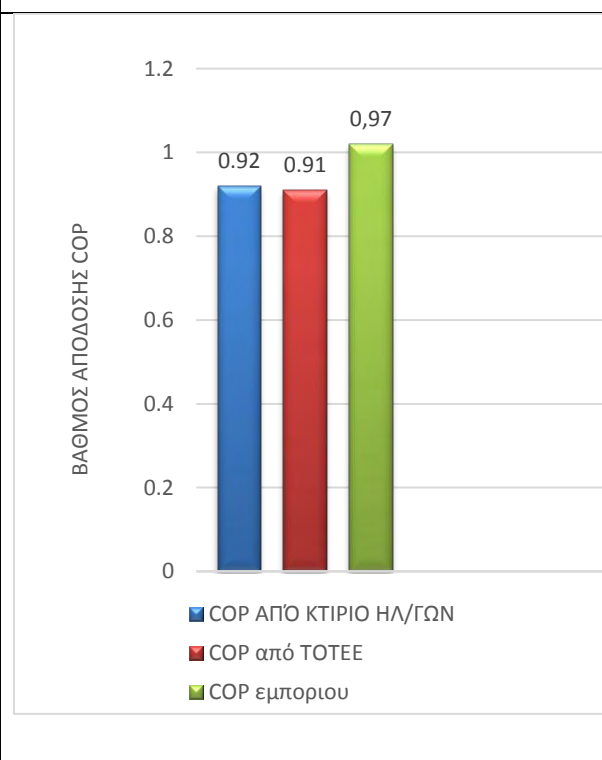
**Σχήμα 14) Βαθμός απόδοσης γεωθερμικής αντλίας 138 kW**



**Σχήμα 15) Βαθμός απόδοσης αερόψυκτου ψύκτη 90kW**



**Σχήμα 16) Βαθμός απόδοσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας 85kW**



**Σχήμα 17) Βαθμός απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου 120 kW**

Από τα σχήματα 13 έως 17 διαπιστώνουμε ότι οι γεωθερμικές θερμότητες παρέχουν θέρμανση και ψύξη εξασφαλίζοντας μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας αντίθετα με τους λέβητες καυσίμου (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο κ.λπ.).

Η επιλογή των συστημάτων θέρμανσης /ψύξης αλλά έγινε βάση της πολεοδομικής μελέτης του κτιρίου έτσι ώστε ο βαθμός απόδοσης τους να ξεπερνά τον ελάχιστο απαιτούμενο βαθμό απόδοσης που προβλέπονται από τα εθνικά πρότυπα και στις αντίστοιχες Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 4003/17.11.2017. Από τα σχήματα 13 έως 19 διαπιστώνουμε επίσης ότι στο ελεύθερο εμπόριο κυκλοφορούν πλέον πολύ πιο βελτιούμενα συστήματα με μεγάλο βαθμό απόδοσης που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά το επτά (7).

Πίνακας 26) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Γερμανίας		Πίνακας 27) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού	
<b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b>		<b>ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</b>	
A+ < 0,33		A+ < 0,33	
0,33 < A ≤ 0,5		0,33 < A ≤ 0,5	
0,50 < B+ ≤ 0,75		0,50 < B+ ≤ 0,75	
0,75 < B ≤ 1,00		0,75 < B ≤ 1,00	
1,00 < Γ ≤ 1,41		1,00 < Γ ≤ 1,41	
1,41 < Δ ≤ 1,82		1,41 < Δ ≤ 1,82	
1,82 < Ε ≤ 2,27		1,82 < Ε ≤ 2,27	
2,27 < Ζ ≤ 2,73		2,27 < Ζ ≤ 2,73	
2,73 ≤ Η		2,73 ≤ Η	
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</b>		<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ</b>	
<b>180,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,60 kWh/m <sup>2</sup>		<b>173,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>B</b>		<b>B</b>	

Πίνακας 28) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) με την χρήση καλύτερου εξοπλισμού

Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ & ΚΑΛΥΤΕΡΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΚΑΛΥΤΕΡΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
Θέρμανση & μ. αερισμό	68.5	59.1	54,2	8,3
Ψύξη & μηχ. αερισμό	28.9	24.8	22,7	8,47
Φωτισμός	105.2	97	97	-
Σύνολο	202.6	180,9	173,9	3,9

Από τους πίνακες 26 και 27 συμπεραίνουμε ότι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου με δεδομένα τους συντελεστές θερμοπερατότητας της Γερμανίας χρησιμοποιώντας τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του μηχανολογικού εξοπλισμού που είναι 173,9 kWh/m<sup>2</sup> είναι περίπου 3,9 % συνολικά. Ως αναφορά την θέρμανση και την ψύξη είναι 8,3 % και 8,47 % αντίστοιχα.

## 5.2 ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 5.2.1 Συστήματα τεχνητού φωτισμού.

Η εγκατάσταση τεχνητού φωτισμού αποτελεί ένα από τα κυριότερα ενεργειακά συστήματα του κτιρίου. Ο τεχνητός φωτισμός έχει ως σκοπό τη συμπλήρωση ή και την πλήρη αντικατάσταση του φυσικού φωτισμού, παρέχοντας έτσι την απαραίτητη οπτική άνεση στους χρήστες του κτιρίου, ώστε να διεκπεραιώσουν τις δραστηριότητες που απαιτεί η χρήση του κτιρίου μέσα σε ένα ευχάριστο περιβάλλον, χωρίς την παραμικρή δυσκολία. Η αρμονική συνεργασία ενός συστήματος τεχνητού φωτισμού με τα συστήματα φυσικού φωτισμού προϋποθέτει λειτουργία του συστήματος ηλεκτροφωτισμού μόνο όταν ο φωτισμός που προσφέρουν τα συστήματα φυσικού φωτισμού κρίνεται ανεπαρκής για την κάλυψη των επιπέδων οπτικής άνεσης που απαιτούνται στους διάφορους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου. [15]

Δυστυχώς, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών οι ρόλοι τεχνητού και φυσικού φωτισμού έχουν αντιστραφεί. Κατά την μελέτη και κατασκευή των κτιρίων δεν λαμβάνονται παρά ελάχιστα υπόψη οι δυνατότητες φυσικού φωτισμού με αποτέλεσμα την σχεδόν ολοκληρωτική εξάρτηση των εσωτερικών χώρων από τα συστήματα τεχνητού φωτισμού, ακόμα και σε χρονικά διαστήματα της ημέρας κατά τα οποία η χρήση τεχνητού φωτισμού είναι αδικαιολόγητη. Συνέπεια αυτού είναι μια πρωτοφανής σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες φωτισμού των κτιρίων. Ενδεικτικά παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας, όπου είναι εμφανές το σημαντικό ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό των διάφορων εσωτερικών χώρων κάθε κτιρίου: [15]

**Πίνακας 29) Ποσοστιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό των εσωτερικών χώρων των κτιριακών εγκαταστάσεων του τριτογενούς και του παραγωγικού τομέα (στοιχεία έτους 2005). [15]**

Κτίρια τριτογενούς τομέα	Ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό
Εμπορικά καταστήματα	15,5%
Ξενοδοχεία	17,0%
Κτίρια γραφείων	28,0%
Νοσοκομεία	23,0%
Εκπαίδευση	55,1%
Αθλητικές εγκαταστάσεις	33,0%
Άλλα	19,1%
<b>Βιομηχανία - Βιοτεχνία</b>	<b>15,0%</b>

Όλες οι εγκαταστάσεις τεχνητού φωτισμού, ανεξαιρέτως κατηγορίας, είναι πλήρεις φωτιστικές μονάδες που αποτελούνται από τα εξής στοιχεία:

Φωτιστικές συσκευές.  
Φωτιστικά σημεία.

Η επιλογή του φωτισμού των χώρων αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας λοιπόν τρόπος να εξοικονομήσουμε ενέργεια στο κτίριο μας είναι η χρησιμοποίηση λαμπτήρων LED.

Οι λαμπτήρες αυτοί δεν ανήκουν στους λαμπτήρες εκκένωσης. Η αρχή λειτουργίας τους συνίσταται στην εκπομπή φωτός από μια κρυσταλλοδίοδο όταν από αυτή διέλθει ρεύμα κατάλληλης έντασης. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της διόδου. Οι λαμπτήρες LED λευκού χρώματος που χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές φωτισμού εσωτερικών χώρων στηρίζονται στην επάλειψη ενός λαμπτήρα LED κυανού χρώματος με ένα λεπτό στρώμα φθορίζουσας ουσίας, η οποία μετατρέπει το χρώμα αυτό σε λευκό.

Οι πρώτοι λαμπτήρες LED που κυκλοφόρησαν ήταν μικρής ισχύος (μόλις λίγα Watts), αλλά πλέον το μέγεθος της ισχύος τους έχει αυξηθεί και σε λίγο καιρό θα υπάρχουν διαθέσιμοι λαμπτήρες LED σε οποιαδήποτε επίπεδο ισχύος και για οποιαδήποτε εφαρμογή. Η αλματώδης πρόοδος της τεχνολογίας αυτών των λαμπτήρων έχει καταστήσει σίγουρη την αντικατάσταση όλων των υπολοίπων λαμπτήρων από λαμπτήρες LED.[25]

Οι λαμπτήρες LED χαρακτηρίζονται από υψηλή φωτεινή απόδοση (τυπική τιμή μεταξύ 30-60 lm/W, αλλά η μέγιστη τιμή μπορεί να φθάνει για κάποιους τύπους ακόμα και τα 120lm/W), μεγάλη διάρκεια ζωής (τυπική τιμή άνω των 30000h, με τη μέγιστη τιμή να φθάνει τις 100000h για κάποιους τύπους) και τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή λαμπτήρων. Επιπλέον έχουν πολύ καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης ( $CRI > 80$ ), ποικιλία στη θερμοκρασία χρώματος (2700-10000°K) με αποτέλεσμα τη δυνατότητα δημιουργίας είτε ψυχρής, είτε θερμής ατμόσφαιρας (μέσω της κατάλληλης επιλογής λαμπτήρα) και τέλος είναι φιλικόι προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιέχουν υδράργυρο που μολύνει το περιβάλλον. [15]



**Εικόνα 13) Τύποι λαμπτήρων LED**

Οι εφαρμογές των λαμπτήρων LED περιορίζονται μέχρι στιγμής στο φωτισμό εσωτερικών χώρων, όπως αίθουσες εκθέσεων, μουσεία (εξαιτίας της χαμηλής θερμότητας που εκπέμπουν, η οποία είναι ακίνδυνη για τα εκθέματα) και εμπορικά καταστήματα (εύκολη

υλοποίηση κάθε διακοσμητικής ιδέας εξαιτίας της ποικιλίας των σχεδίων και των χρωματισμών). Επίσης χρησιμοποιούνται ως φωτισμός ασφαλείας των κτιρίων χάρη στην οικονομική λειτουργία και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους.

Αν λοιπόν σε ένα χώρο έχουμε μια κοινή λάμπα 100 Watt και θέλουμε να έχουμε τον ίδιο φωτισμό, αλλά με μικρότερη κατανάλωση, τότε θα πρέπει να προσέξουμε ότι ένας Λαμπτήρας πυρακτώσεως 1500 Lumen έχει κατανάλωση 100 Watt ενώ ένας Λαμπτήρας LED 1500 Lumen έχει κατανάλωση 16,6 Watt.[ 15]

Ένας δηλαδή λαμπτήρας LED δίνει περίπου **6 πλαίσια lumen** σε σύγκριση με έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως στα ίδια Watt. Οι λαμπτήρες LED, πέρα από την χαμηλότερη κατανάλωση, δεν χρειάζονται χρόνο για να αποδώσουν το μέγιστο της φωτεινότητας τους και ανεξαρτήτως από το πόσες φορές τους ανάβουμε και τους σβήνουμε το ποσοστό της απόδοσης που "χάνουν" είναι μόλις 1%-3%.



Εικόνα 14) Χώροι εφαρμογής με λάμπες LED

Επιλέγοντας λαμπτήρες τύπου LED για τον φωτισμό του κτιρίου μας καταφέραμε να μειώσουμε σημαντικά την κατανάλωση και να φτάσουμε σ'ένα βαθμό ενεργειακής κατανάλωσης καλύτερο από αυτόν με λάμπες πυρακτώσεως όπως φαίνεται και στους πίνακες 30 και 31.

**Πίνακας 30) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης με λαμπτήρες LED**

ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	
A+ < 0,33	
0,33 < A ≤ 0,5	
0,50 < B ≤ 0,75	
0,75 < B ≤ 1,00	0,84
1,00 < Γ ≤ 1,41	
1,41 < Δ ≤ 1,82	
1,82 < Ε ≤ 2,27	
2,27 < Ζ ≤ 2,73	
2,73 ≤ Η	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	
<b>170,00 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B</b>

**Πίνακας 31) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης με λαμπτήρες Πυρακτώσεως**

ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	
A+ < 0,33	
0,33 < A ≤ 0,5	
0,50 < B ≤ 0,75	
0,75 < B ≤ 1,00	0,90
1,00 < Γ ≤ 1,41	
1,41 < Δ ≤ 1,82	
1,82 < Ε ≤ 2,27	
2,27 < Ζ ≤ 2,73	
2,73 ≤ Η	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	
<b>181,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,60 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B</b>

**Πίνακας 32) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) ανά χρήση με λάμπες πυρακτώσεως.**

Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΓΩΝ ΜΕ ΛΑΜ. ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΓΩΝ ΜΕ ΛΑΜΠΗΤΗΡΕΣ LED
Θέρμανση & μ. αερισμός	68.5	59.8	59.7
Ψύξη & μηχ αερισμός	28.9	25.1	25.1
ZNX	0	0	0
Φωτισμός	105.2	97	85,2
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	202.6	181.9	170
Κατηγορία	-	B	B

Όπως μπορούμε να δούμε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές θερμοπερατότητας όπως θα κατασκευαστεί το εξεταζόμενο κτίριο δηλαδή το σενάριο 8 συγκρίνοντας τους πίνακες 27 και 28 υπάρχει μια μείωση της τάξης του 6% στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίος ο προσανατολισμός των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας που πρέπει να εφαρμοστούν στο κτίριο, στην προσπάθεια μείωσης της ενέργειας που δαπανάται πρωτίστως για θέρμανση – ψύξη και δευτερευόντως για το φωτισμό.

### 5.2.2 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και μηχανικού αερισμού

Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια προκύπτει από την τις εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης. Μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης η ψύξης θεωρείται επιτυχημένη όταν η λειτουργία της χαρακτηρίζεται από επάρκεια, οικονομία και ασφάλεια. [33] Η επίτευξη ενός τέτοιου τρόπου λειτουργίας προϋποθέτει την εκτέλεση μιας σωστής μελέτης, η οποία αρχικά θα υπολογίζει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τις



θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του κτιρίου και στη συνέχεια, θα σχεδιάζει το κατάλληλο σύστημα που θα μπορεί να καλύψει αυτές τις ανάγκες. Ο σχεδιασμός μιας τέτοιας εγκατάστασης περιλαμβάνει τη σωστή επιλογή των ενεργειακών και τεχνικών χαρακτηριστικών των συσκευών, την έξυπνη διάταξη τους στο χώρο, τον ορθολογικό σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς του θερμαντικού ή ψυκτικού μέσου και τη λειτουργική σύνδεση και ρύθμιση των στοιχείων.[32] Τέτοια συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το κτίριό μας είναι τα συστήματα γεωθερμίας

Υπολογίζεται ότι με την εγκατάσταση συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει ακόμη και το 60% σε σχέση με τις κυρίαρχουσες τεχνολογίες [31].

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας μιας περιοχής είναι η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών που καθορίζει και το είδος της εφαρμογής της. [30]

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας για το κτίριο μας περιλαμβάνουν:

1. θέρμανση χώρων (με fan coils ψευδοροφής με κεντρικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου)
2. ψύξη (με fan coils ψευδοροφής και σύστημα ελέγχου BMS)
3. μηχανικό αερισμό (με fan coils και Κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για τον χώρο του αμφιθέατρου.)

Στα οριζόντια συστήματα ανοιχτού βρόχου οι σωληνώσεις τοποθετούνται στο έδαφος σε ορισμένο βάθος με διάφορες γεωμετρίες. Πολλά γεωμετρικά σχήματα έχουν προταθεί και δοκιμαστεί. Στην Βόρεια Αμερική επικρατεί η σπειροειδής «γεωμετρία», ενώ στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια τοποθετείται ένα είδος πλέγματος. Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1 m-2 m, ή και βαθύτερα, αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20 cm-60 cm, ή με την μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων, ο χώρος καλύπτεται αρχικά συνήθως με νερό και κατόπιν με το χώμα της εκσκαφής.[31]

Για την εκτίμηση του φορτίου εναλλαγής θερμότητας στον γεωεναλλακτη απαιτείται η γνώση της ελάχιστης και της μέγιστης θερμοκρασίας του αδιατάρακτου εδάφους. Η θερμοκρασία σε κάποιο βάθος (ή η διακύμανσή της με τις εποχές), μπορεί να εκτιμηθεί από μετρήσεις ή να υπολογιστεί. Το μήκος των σωληνώσεων (ή η επιφάνεια του πλέγματος) εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους, όπως είναι η θερμοκρασία, ο τύπος και η υγρασία του εδάφους, το είδος της κάλυψης, το βάθος που τοποθετούνται οι σωληνώσεις, η απόσταση μεταξύ των ορυγμάτων κ.ά. [31]

Επιλέγοντας γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για την θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου μας και χρησιμοποιώντας τους συντελεστές θερμοπερατότητας με τον χαμηλότερο συντελεστή(Γερμανίας) καταφέραμε να μειώσουμε σημαντικά την κατανάλωση και να φτάσουμε σ'ένα βαθμό ενεργειακής κατανάλωσης πολύ καλύτερο από αυτόν που προκύπτει από ένα συμβατικό τρόπο θέρμανσης (Φ. Αέριο) ή ψύξης (απλές αντλίες θερμότητας).

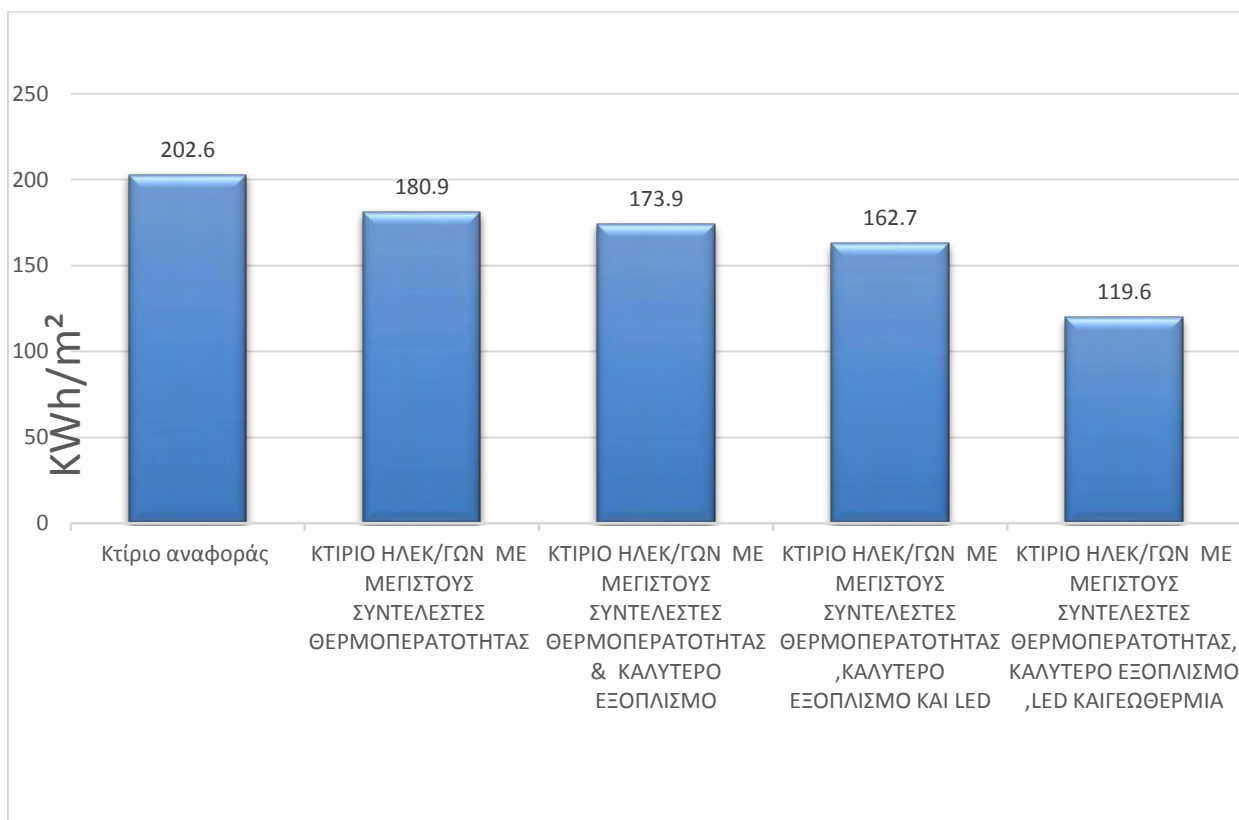
Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε τις διαφορές χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο σύστημα στο κτίριο μας.

Πίνακας 26) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου με δεδομένα τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της Γερμανίας		Πίνακας 27) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού	
ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	
A+ < 0,33		A+ < 0,33	
0,33 < A ≤ 0,5		0,33 < A ≤ 0,5	
0,50 < B+ ≤ 0,75		0,50 < B+ ≤ 0,75	
0,75 < B ≤ 1,00	0,89	0,75 < B ≤ 1,00	0,86
1,00 < Γ ≤ 1,41		1,00 < Γ ≤ 1,41	
1,41 < Δ ≤ 1,82		1,41 < Δ ≤ 1,82	
1,82 < Ε ≤ 2,27		1,82 < Ε ≤ 2,27	
2,27 < Ζ ≤ 2,73		2,27 < Ζ ≤ 2,73	
2,73 ≤ Η		2,73 ≤ Η	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ		ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	
<b>180,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,60 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B</b>	<b>173,90 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B</b>

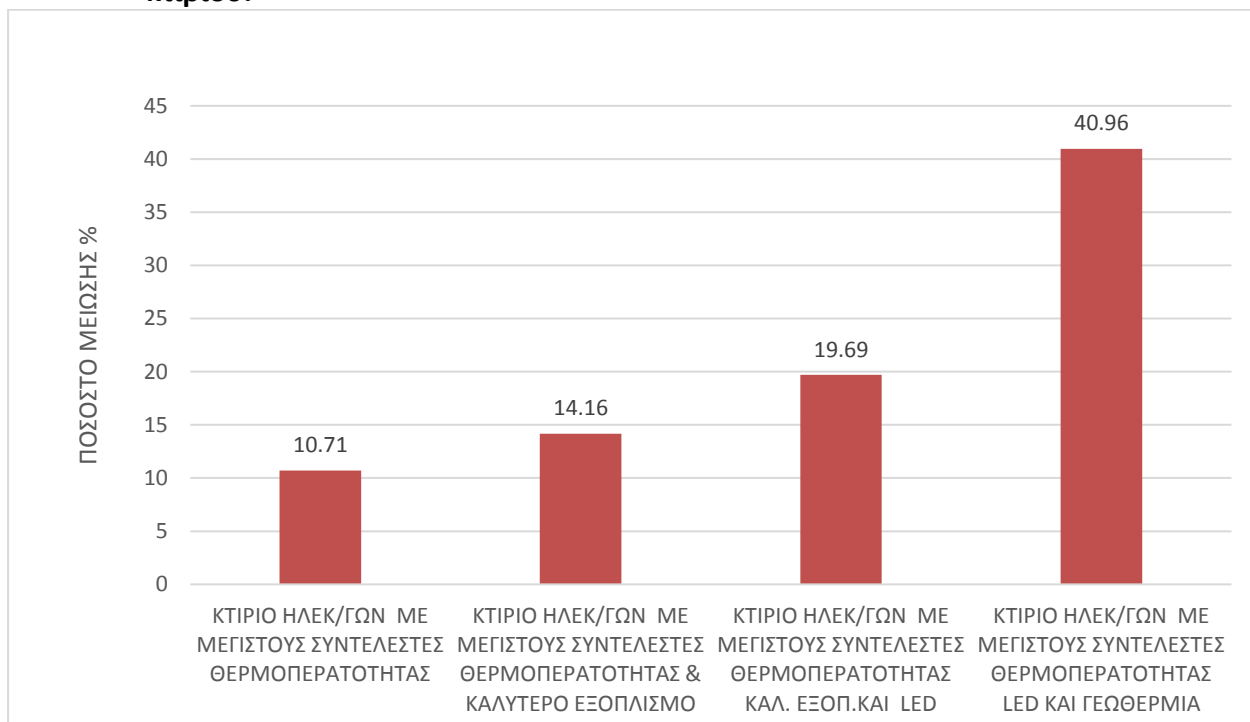
Πίνακας 33) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους συντελεστές απόδοσης και λάμπες LED		Πίνακας 34) Υπολογισμός Ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου χρησιμοποιώντας τους καλύτερους συντελεστές κτιριακού κελύφους με τους καλύτερους συντελεστές απόδοσης, λάμπες LED και γεωθερμία	
ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	
A+ < 0,33		A+ < 0,33	
0,33 < A ≤ 0,5		0,33 < A ≤ 0,5	
0,50 < B+ ≤ 0,75		0,50 < B+ ≤ 0,75	0,59
0,75 < B ≤ 1,00	0,80	0,75 < B ≤ 1,00	
1,00 < Γ ≤ 1,41		1,00 < Γ ≤ 1,41	
1,41 < Δ ≤ 1,82		1,41 < Δ ≤ 1,82	
1,82 < Ε ≤ 2,27		1,82 < Ε ≤ 2,27	
2,27 < Ζ ≤ 2,73		2,27 < Ζ ≤ 2,73	
2,73 ≤ Η		2,73 ≤ Η	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ		ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	
<b>162,70 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B</b>	<b>119,60 kWh/m<sup>2</sup></b> 202,70 kWh/m <sup>2</sup>	<b>B+</b>

Πίνακας 35) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) ανά χρήση

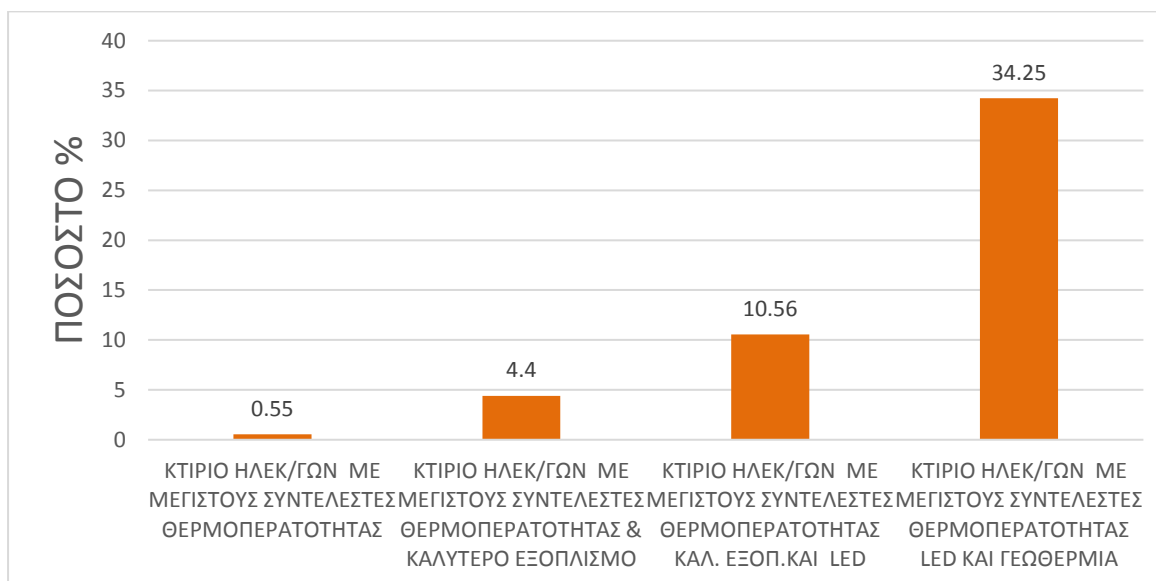
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ & ΚΑΛΥΤΕΡΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΛ. ΕΞΟΠΛ. ΚΑΙ LED	ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚ/ΤΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ LED ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ
Θέρμανση & μ. αερισμό	68.5	59.1	54,2	54,2	19,2
Ψύξη & μηχ. αερισμό	28.9	24.8	22,7	22,7	14,6
Φωτισμός	105.2	97	97	85,8	85,8
Σύνολο	202.6	180,9	173,9	162,7	119,60
Κατηγορία	-	B	B	B	B+



**Σχήμα 18) Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου.**



**Σχήμα 19) Ποσοστό μείωσης κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου σε σχέση με το κτίριο αναφοράς.**



**Σχήμα 20) Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m<sup>2</sup>) για κάθε αναβάθμιση του κτιρίου σε σχέση με το πραγματοποιούμενο κτίριο.**

Όπως μπορούμε να δούμε συγκρίνοντας τους πίνακες 30 έως 33 και τα σχήματα 20 και 21 υπάρχει μια μείωση για κάθε ενεργειακή αναβάθμιση ενώ την μεγαλύτερη μείωση την συναντάμε χρησιμοποιώντας την περίπτωση με όλες τις αναβαθμίσεις που είναι 40,96% στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου συγκρίνοντας με το κτίριο αναφοράς. Συγκρίνοντας την κάθε περίπτωση ξεχωριστά βλέπουμε από το σχήμα 21 ότι την μεγαλύτερη διαφορά την προκαλεί η γεωθερμία που είναι 21,27%. Συγκρίνοντας τα ποσοστά στο σχήμα 22 παρατηρούμε ότι και σε σχέση με το πραγματοποιούμενο κτίριο η διαφορά χρησιμοποιώντας γεωθερμία είναι η μεγαλύτερη ( από 10,56 % σε 34,25 %).

Συνεπώς, η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας που πρέπει να εφαρμοστεί στο κτίριο, είναι στην προσπάθεια μείωσης της ενέργειας που δαπανάται για θέρμανση – ψύξη.

Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας γεωθερμία καταφέραμε να μειώσουμε την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου σε  $119,6 \text{ kWh/m}^2 < 120 \text{ kWh/m}^2$  που είναι η μέγιστη απαίτηση ενός παθητικού σχολικού κτιρίου.

Επίσης καταφέραμε να μειώσουμε την ενεργειακή κατανάλωση που αφορά την ψύξη σε  $14,6 \text{ kWh/m}^2 < 15,0 \text{ kWh/m}^2$  που είναι η μέγιστη απαίτηση και πλησιάσαμε πολύ κοντά στις απαιτήσεις της θέρμανσης  $19,2 \text{ kWh/m}^2 > 15,0 \text{ kWh/m}^2$

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η άνεση το καλοκαίρι σε ένα παθητικό σχολείο, η συχνότητα των θερμοκρασιών άνω των  $25^\circ\text{C}$  θα πρέπει να περιορίζεται σε λιγότερο από το 10% των ωρών χρήσης κάτι που δεν μπορούμε να ελέγξουμε στο κτίριο μας.

Όσον αφορά την αεροστεγανότητα δεν μπορούμε να ελέγξουμε τις εναλλαγές αέρα ανά ώρα οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις 0,6

**Πίνακας 36) Σύγκριση του κτιρίου ηλεκτρολόγων με τις ελάχιστες απαιτήσεις των παθητικών κτιρίων.**

Θέρμανση	ψύξη	Ετησια ενεργειακή κατανάλωση	εναλλαγές αέρα	αεροστεγανότητα
$19,2 > 15 \text{ kWh/m}^2$	$14,6 < 15 \text{ kWh/m}^2$	$119,6 < 120 \text{ kWh/m}^2$	Χωρίς έλεγχο	Χωρίς έλεγχο

## 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Θεωρείται σκόπιμο να εξαχθούν και να αριθμηθούν ορισμένα συμπεράσματα που θα μας οδηγήσουν στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων αυτής της εργασίας.

Ένα πρώτο ερώτημα που προκύπτει είναι κατά ποσό η θωράκιση του κελύφους ενός κτιρίου θα βελτιώσει την ενεργειακή του απόδοση και θα οδηγήσει το κτίριο σε παθητικό κτίριο. Ποσό σημαντικό ρολό παίζουν οι εγκαταστάσεις του κτιρίου και πόσο μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του.

Ένα δεύτερο ερώτημα είναι κατά πόσο οι συντελεστές θερμοπερατότητας που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας είναι αρκετά ικανοποιητικοί και τι διαφορές έχουν με του μέγιστους επιτρεπόμενους συντελεστές κάποιων άλλων Ευρωπαϊκών χωρών.

Σαν εξεταζόμενο κτίριο χρησιμοποιήσαμε το υπό ανέγερση κτίριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εξετάστηκαν οκτώ (8) διαφορετικές περιπτώσεις. Στα 8 σενάρια θερμομόνωσης συγκρίθηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας  $U_m$  του κτιρίου όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς με τον μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{m-max}$  της Ζώνης Β.

Υπολογίζοντας κάθε μια περίπτωση ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών των δομικών στοιχείων του κελύφους για κάθε περίπτωση αλλά και για δυο Ευρωπαϊκές χώρες την Ιρλανδία και την Γερμανία διαπιστώσαμε τα παρακάτω:

1. Υπήρξε ποσοστιαία μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  από τον μέγιστο επιτρεπόμενο  $U_{m-max}(1,03 \text{ kWh/m}^2)$  της ζώνης Β για κάθε διαφορετική περίπτωση. Η μέγιστη μείωση παρατηρήθηκε στα κτίρια που χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές Γερμανίας και Ιρλανδίας με ποσοστά 63,11 % και 62,14 % αντίστοιχα. Η μείωση του πραγματοποιούμενου κτιρίου ήταν 46,66 %. Για τις ζώνες Α,Β,Γ και Δ η μείωση ήταν 48,16%, 34,95%, 38,83% και 43,4% αντίστοιχα. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η μικρότερη μείωση υπήρξε στο κτίριο που χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές της Ζώνης Α.
2. Οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση είναι ικανοί να αντιμετωπίσουν με επιτυχία την θωράκιση του κτιριακού κελύφους για την ζώνη Β. Το ίδιο συμβαίνει και για τις άλλες δυο Ευρωπαϊκές χώρες. Στην περίπτωση του μη θερμομονωμένου κτιρίου (Σενάριο 1) παρατηρήσαμε ότι το κτίριο δεν προστατεύεται σε καμία περίπτωση για τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην χώρα μας.
3. Παρατηρήσαμε ότι υπήρξε διαφορά στα κτίρια με τα δεδομένα των συντελεστών θερμοπερατότητας της Γερμανίας και της Ιρλανδίας. Αυτό σημαίνει ότι το κτιριακό κέλυφος σ' αυτές τις χώρες προστατεύεται καλύτερα διότι οι απαιτήσεις της θερμομόνωσης των κτιρίων τους δηλαδή οι μέγιστοι συντελεστές θερμοπερατότητας

είναι αυστηρότεροι. Βέβαια για να πέτυχουνε τέτοιους συντελεστές θερμοπερατότητας χρησιμοποιούν υλικά υψηλών προδιαγραφών με πολύ χαμηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας.

4. Παρατηρήθηκε επίσης ότι οι διαφορές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δυο αυτών χωρών (Γερμανία & Ιρλανδία) δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές των (4) ελληνικών ζωνών. Η διαφορά είναι της τάξης του 20% περίπου που σημαίνει ότι και στην Ελλάδα τα μέτρα θερμοπροστασίας του κτιριακού κελύφους είναι αρκετά απαιτητικά.

Από τους υπολογισμούς της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου φαίνεται ότι το κτίριο σε κάθε περίπτωση κατατάσσεται στην κατηγορία Β αρκετά κοντά στα ανώτατα όρια της κατηγορίας αυτής. Με δυο λόγια η ενέργεια κατανάλωσης είναι λιγότερη από αυτή που απαιτείται για το κτίριο αναφοράς που σημαίνει ότι το κτίριο μας είναι καλά θωρακισμένο, λειτουργικά αναβαθμισμένο και αποδοτικό σε κάθε περίπτωση.

Διαπιστώσαμε επίσης ότι υπάρχει μια μείωση για κάθε ενεργειακή αναβάθμιση ενώ την μεγαλύτερη μείωση την συναντάμε χρησιμοποιώντας την περίπτωση με όλες τις αναβαθμίσεις που είναι 40,96% στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου συγκρίνοντας με το κτίριο αναφοράς. Συγκρίνοντας την κάθε περίπτωση ξεχωριστά παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη διαφορά την προκαλεί η γεωθερμία που είναι 21,27%. Συγκρίνοντας δε τα ποσοστά παρατηρούμε επίσης ότι σε σχέση με το πραγματοποιούμενο κτίριο η διαφορά χρησιμοποιώντας γεωθερμία είναι η μεγαλύτερη ( 23,69 %).

Βέβαια η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων δεν είναι μόνον η αύξηση της θερμομόνωσης στα κύρια δομικά στοιχεία του κελύφους ( Θωράκιση του κτιρίου), αλλά και στις εγκαταστάσεις (κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας).

Ο στόχος λοιπόν μιας ενεργειακής μελέτης είναι η ελαχιστοποίηση κατά το δυνατόν της κατανάλωσης ενέργειας για την σωστή λειτουργία ενός κτηρίου. Έτσι λοιπόν η σωστή επιλογής κατάλληλων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση, ψύξη, μηχανικό αερισμό και φωτισμό με την κατά το δυνατόν ελάχιστη κατανάλωση (ανοιγμένης) πρωτογενούς ενέργειας καθώς επίσης η χρήση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) όπως ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά συστήματα, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εδάφους, υπόγειων και επιφανειακών νερών) κ. ά. και η εφαρμογή διατάξεων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, για τον περιορισμό της άσκοπης χρήσης τους μπορεί να δημιουργήσει ένα κτίριο πολύ χαμηλής κατανάλωσης.

Εξετάζοντας τις εγκαταστάσεις θέρμανση, ψύξη, μηχανικού αερισμού και φωτισμού του κτιρίου διαπιστώθηκε ότι οι αντλίες θερμότητας με γεωθερμία εξασφαλίζουν μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας αντίθετα με τους λέβητες καυσίμου (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο κ.λ.π). Διαπιστώσαμε επίσης ότι στο ελεύθερο εμπόριο κυκλοφορούν πλέον πολύ βελτιούμενα συστήματα με μικρή κατανάλωση ενέργειας και με μεγάλο βαθμό απόδοσης .

Ένα σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας ενός κτιρίου έχει και ο φωτισμός του κτιρίου. Εξετάζοντας το κτίριο μας ενεργειακά και συγκρίνοντας την διαφορά μεταξύ απλών λαμπτήρων πυρακτώσεως και λαμπτήρων LED διαπιστώσαμε ότι η αλλαγή αυτή επέφερε μια μείωση της τάξης του 6% στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

Τέλος καταφέραμε να μειώσουμε την ενεργειακή κατανάλωση που αφορά την ψύξη σε  $14,6 \text{ kWh/m}^2 < 15,0 \text{ kWh/m}^2$  που είναι η μέγιστη απαίτηση και πλησιάσαμε πολύ κοντά στις απαιτήσεις της θέρμανσης  $19,2 \text{ kWh/m}^2 > 15,0 \text{ kWh/m}^2$  και επίσης καταφέραμε να μειώσουμε την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου σε  $119,6 \text{ kWh/m}^2 < 120 \text{ kWh/m}^2$  που είναι η μέγιστη απαίτηση ενός παθητικού σχολικού κτιρίου.

Κλείνοντας πρέπει να επισημάνουμε ότι τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την ενεργειακή βελτίωση των κτιρίων στην χώρα μας. Πάρα πολλά προγράμματα βελτίωσης των υφιστάμενων αλλά και αυστηρές οδηγίες για τα καινούργια κτίρια. Οι ευρωπαϊκοί στόχοι είναι η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο κτιριακό ενεργειακό ισοζύγιο, το οποίο και σε συνδυασμό με τη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, να γίνει μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό έως το 2020.[36]

Γίνεται λοιπόν σαφές πως η Ελλάδα μπορεί να παγιώσει μια μακροχρόνια ενεργειακή πολιτική που θα βοηθήσει την προσπάθεια της Ευρώπης για πραγματική βελτίωση της ενεργειακής πραγματικότητας.



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. I.G. Lang, "Establishment of a Co-operation Network of Passive House promoters (PASS-NET): Period of documentation 2007-2009, 25.000 Passive House projects in Europe", Vienna, November 2010
2. ΥΠΕΚΑ, "2<sup>ο</sup> ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ 2008-2016 ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2006/32/ΕΚ", Αθήνα-Σεπτέμβριος 2011
3. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ, ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ "ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ, 2011-2012", Πειραιάς, 29-10-2013
4. Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, Κ. Δρούτσα, Σ. Κοντογιαννίδης, Ε. Δασκαλάκη, Κ. Μπαλαράς, "ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ", 10<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας
5. Passive House Institut, "EnerPHit and EnerPHit<sup>+</sup> Certification Criteria for Energy Retrofits with Passive House Components", Darmstadt, 13-9-2013
6. [www.passipedia.org](http://www.passipedia.org), "Are Passive Houses cost-effective?", 17-1-2015
7. Παντελής Πατενιώτης, "Θερμομονωτικά υλικά και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων", Ημερίδα "Τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης ως εργαλείο εξοικονόμησης στις κατοικίες", Αθήνα, 26-2-2015
8. Κωνσταντίνος Ριζάκος, "Κατασκευή παθητικών κτιρίων με θερμομονωτικά υλικά της BASF", 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Παθητικού Κτιρίου
9. ΥΠΕΚΑ, Γ. Μανιάτης, Πρόγραμμα "Εξοικονόμηση Κατ' Οίκον", Αθήνα, Φεβρουάριος 2011
10. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΚΕΝΑΚ, "Μεθοδολογία Υπολογισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίων".
11. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-4/2010 (Β' έκδοση), ΑΘΗΝΑ, 2012.
12. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-5/2012 (Β' έκδοση), ΑΘΗΝΑ, 2012
13. ΚΕΝΑΚ
14. ΥΠΕΚΑ, "3<sup>ο</sup> ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ", Αθήνα, Δεκέμβριος 2014
15. Σταμάτης Δ. Περδίας, «Οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων για εξοικονόμηση ενέργειας», Β' έκδοση, Εκδόσεις Τεχνική Εκδοτική, 2005.

16. Δημήτρης Αθανασίου, 'Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων. Θεσμικό Πλαίσιο και Προοπτικές. Τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης ως εργαλείο εξοικονόμησης στις κατοικίες', Αθήνα, 26-2-2015
17. Σταμάτης Δ. Περδίας, «Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια – αθλητικά κέντρα – βιομηχανίες – μεταφορές Τόμος Α», Εκδόσεις Τεχνική Εκδοτική, 2007.
18. Επιστημονικό ινστιτούτο περιβαλλοντικών ερευνών, ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση οικιστικής, ολιστικής και κατοικίας, «Οικολογική δόμηση: σχεδιασμός – υλικά – συστήματα – ευρετήριο αγοράς», Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα, 2000.
19. Χριστίνα Κωνσταντινίδου, «Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική και Ενεργειακός Σχεδιασμός», Εκδόσεις Τεχνική Εκδοτική, 2008.
20. Π.Γιαννούλης, Νέες Πηγές Ενέργειας, 1997
21. Μάνθος Σανταμούρης, «Ενέργεια και κτήριο», κείμενο στο περιοδικό <http://www.buildings.gr>.
22. Review of European ventilations strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero energy buildings (nZEB)/ Passivhaus. Comparison with the USA Silvia Guillén-Lambea a,b,n, Beatriz Rodríguez-Soria a, José M. Marín
23. Νέος Οικοδομικός Κανονισμός 4067/2012
24. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, "Το λογισμικό ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ", (διαθέσιμο από: [www.portal.tee.gr](http://www.portal.tee.gr)), 2014.
25. Energy demand in the Norwegian buildings stock: Scenarios on potential reduction Igor Sartori , Bjørn Jensen Wachenfeldt , Anne Grete Hestnes
26. How much energy will buildings consume in 2100? A global perspective within a scenario framework Antoine Levesque, Robert C. Pietzcker, Lavinia Baumstark, Simon De Stercke, Arnulf Grübler, Gunnar Luderer
27. Embodied energy and operational energy evaluation in tall buildings according to different typologies of façade Roberto Giordanoa, Matteo Giovanardia, Giulia Guglielmob, Carlo Miccono.
28. Influence of Buildings Configuration on the Energy Demand and Sizing of Energy Systems in an Urban Context 9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK
29. Numerical assessment of heating energy demand for office buildings in Italy Giuseppina Ciulla\*, Valerio Lo Branoa, Antonino D'Amicoa

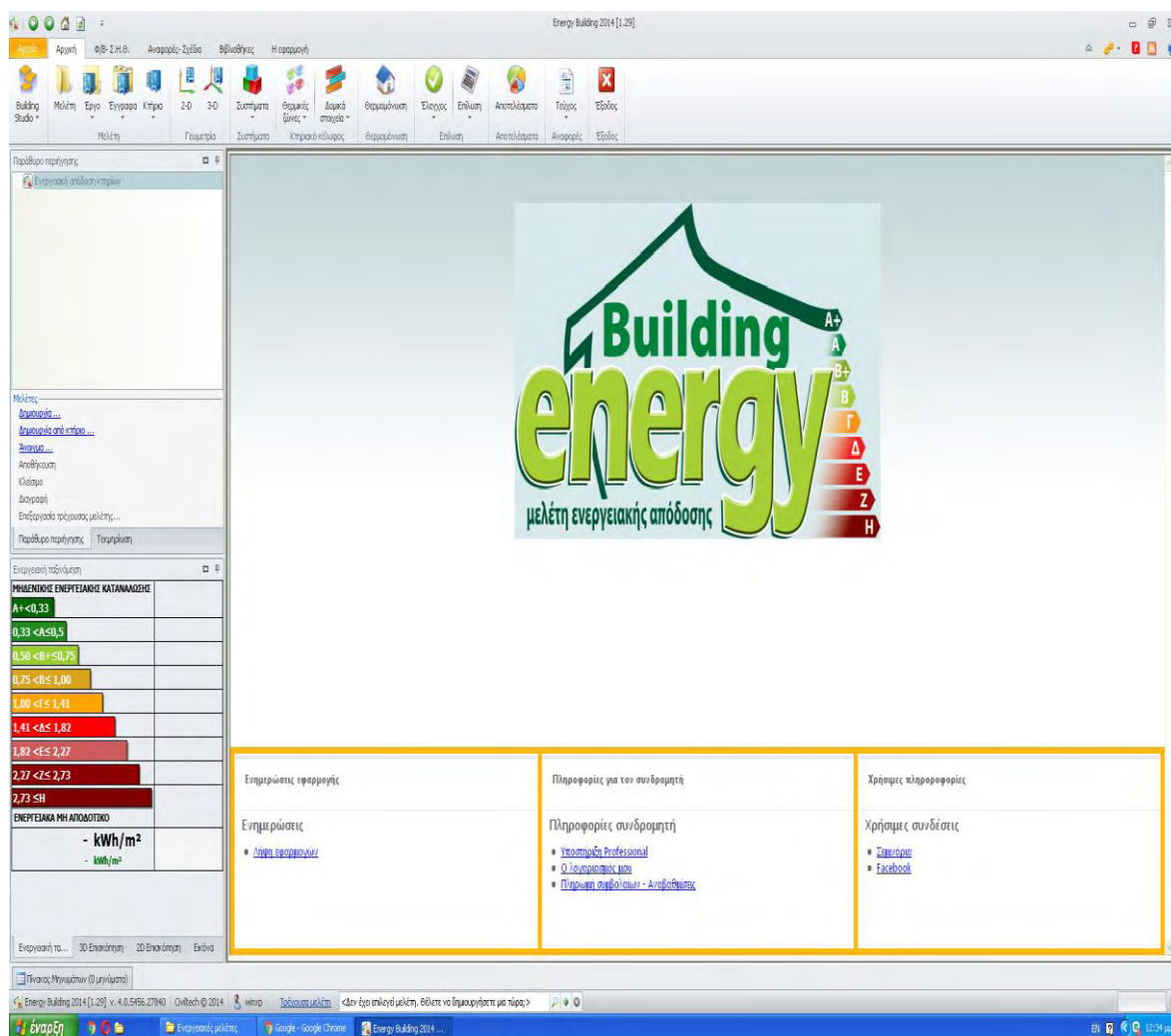
30. Τρυπαναγνωστόπουλος, «ΑΠΕ στα κτίρια», Παρουσίαση στο Επιστημονικό τριήμερο & Έκθεση Υλικών με θέμα “Κτίριο και Ενέργεια”, Λάρισα, 20-22 Οκτωβρίου, 2011.
31. Νίκος Ανδρίτσος, «Η παρούσα κατάσταση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα και τον Κόσμο – Αρχές λειτουργίας», Παρουσίαση στο Επιστημονικό τριήμερο & Έκθεση Υλικών με θέμα “Κτίριο και Ενέργεια”, Λάρισα, 20-22 Οκτωβρίου, 2011.
32. Olympia Zogou and A. Stamatelos, APPLICATION OF BUILDING ENERGY SIMULATION IN THE SIZING AND DESIGN OPTIMIZATION OF AN OFFICE BUILDING AND ITS HVAC EQUIPMENT, in Energy and Buildings: Efficiency, Air Quality, and Conservation, J.B. Utrick, Editor. 2009, Nova Science Publishers.
33. O. Zogou and A. Stamatelos, Effect of climatic conditions on the design optimization of heat pump systems for space heating and cooling. Energy Conversion and Management, 1998. **39**(7): p. 609
34. European Association for the Promotion of Cogeneration, “A Guide to Cogeneration”, Brussels, Belgium, March 2001.
35. International Energy Agency: “Cogeneration and District Energy”, Paris, France, 2009.
36. Ν. 3851/2010 <<Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής>> (ΦΕΚ Α΄ 85).
37. Αραβαντινός Δ. <<Η θερμομόνωση των κτηρίων και τα θερμομονωτικά υλικά>>, διδακτικό εγχειρίδιο για τις απαιτήσεις του μαθήματος <<Οικοδομική II>>, Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2015.
38. Λάσκος Κ., Αξαρχή Κλ. <<Εφαρμογή του προτύπου EN ISO 13790 για τον υπολογισμό της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση και ψύξη κτηρίου με χρήση προγραμμάτων δυναμικής προσομοίωσης>>, 9ο εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Ι.Η.Τ., Πάφος 26-27 Μαρτίου 2009.
39. Theodosiou Th., Tsikaloudaki K., Kontoleon K., Bikas D.: “Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades”.Energy and Buildings, 109, 2015,
40. ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineering., Atlanta, Georgia, Edition 2013.
41. Ανδρουτσόπουλος Α., Κορωνάκη Ε., Πολυμενόπουλος Γ., <<Παράμετροι επίδρασης της ενεργειακής απόδοσης δομικών προϊόντων στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια>>, Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Μηχανολόγων - Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (ΠΣΔΜΗ), Αθήνα, 16-18 Μαΐου 2007

42. Τσάκα, Σ., Σταμούλης, Γ., “Ανάλυση και αξιολόγηση του λογισμικού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων TEE-KENAK και προτάσεις βελτίωσης του”, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Βόλος, 2014.
43. BP, Statistical Review of World Energy, 2012.
44. Ζώγου, Ο., “Θερμομονωτική επάρκεια κτιριακού κελύφους”, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Βόλος, 2012-13.
45. Σταματέλλος, Α., “Βοηθητικό Υλικό Υποστήριξης του Μαθήματος ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΨΥΞΗ-ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος, 2000.
46. Ζώγου, Ο., “Μεθοδολογίες Υπολογισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Μέτρα βελτίωσης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων”, Σεμινάρια TEE: Ενεργειακοί Επιθεωρητές, 2009-10.
47. Amecke, H., Neuhoff, K. “Map of Policies Supporting Thermal Efficiency in Germany’s Residential Building Sector”, Climate Policy Initiative, August, 2011.
48. European Comitee for Standarisation, “Energy performance of buildings - Calculation of energy use forspace heating and cooling”, (ISO 13790:2008), Switzerland, 2008.

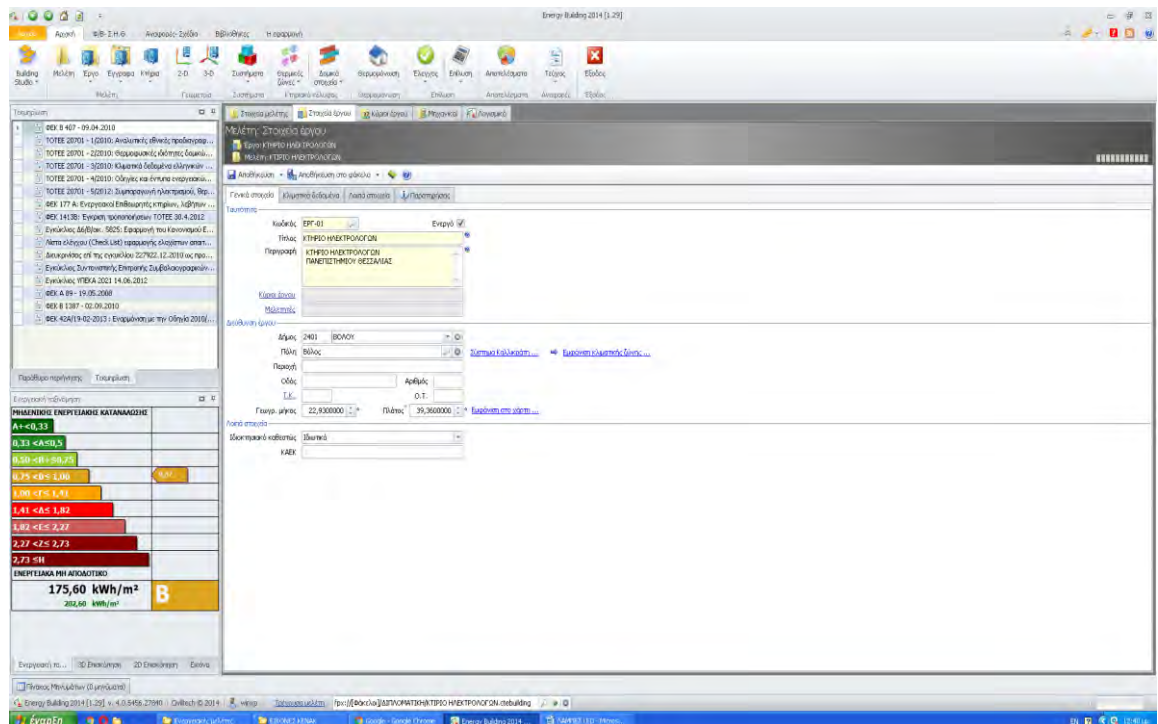
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό TEE- Κ.Εν.Α.Κν.1.29

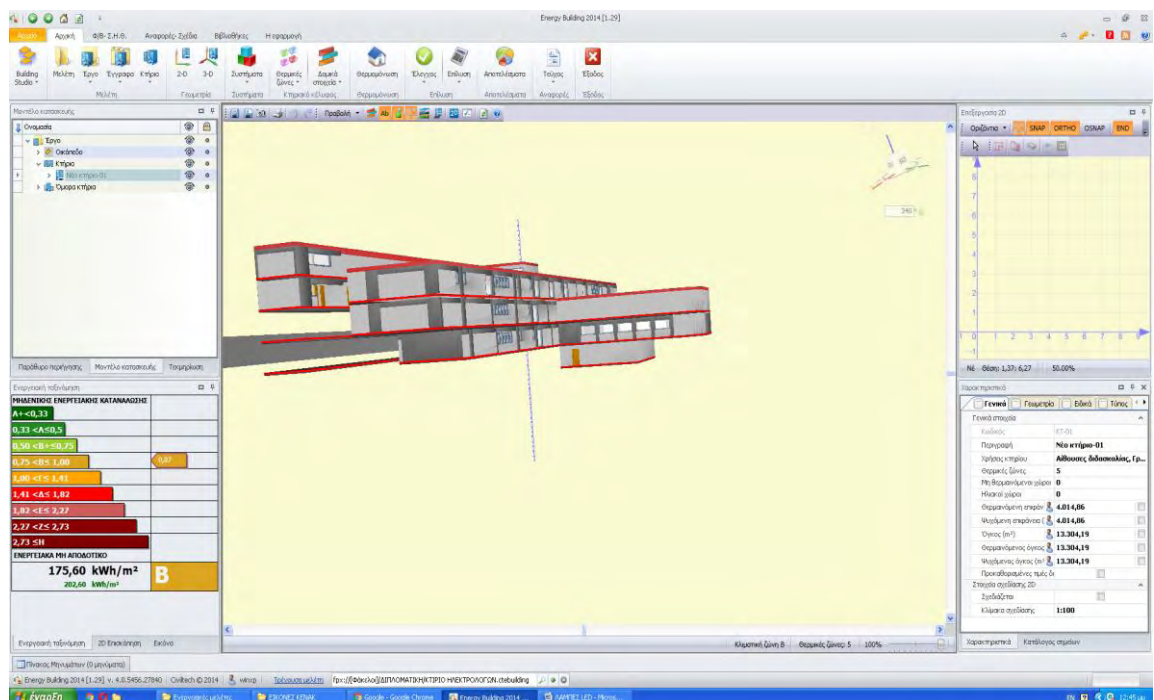
Γίνεται εκκίνηση του λογισμικού TEE - Κ.Εν.Α.Κ έκδοση με την βοήθεια του προγράμματος Energy Building και επιλέγεται η κατηγορία Ενεργειακή Μελέτη, καθώς ο σκοπός της χρήσης του προγράμματος είναι εκπαιδευτικός.



Στην αρχική καρτέλα «Γενικά», εισάγονται τα γενικότερα δεδομένα του κτιρίου, σύμφωνα με τα όσα έχουν ειπωθεί προηγουμένως

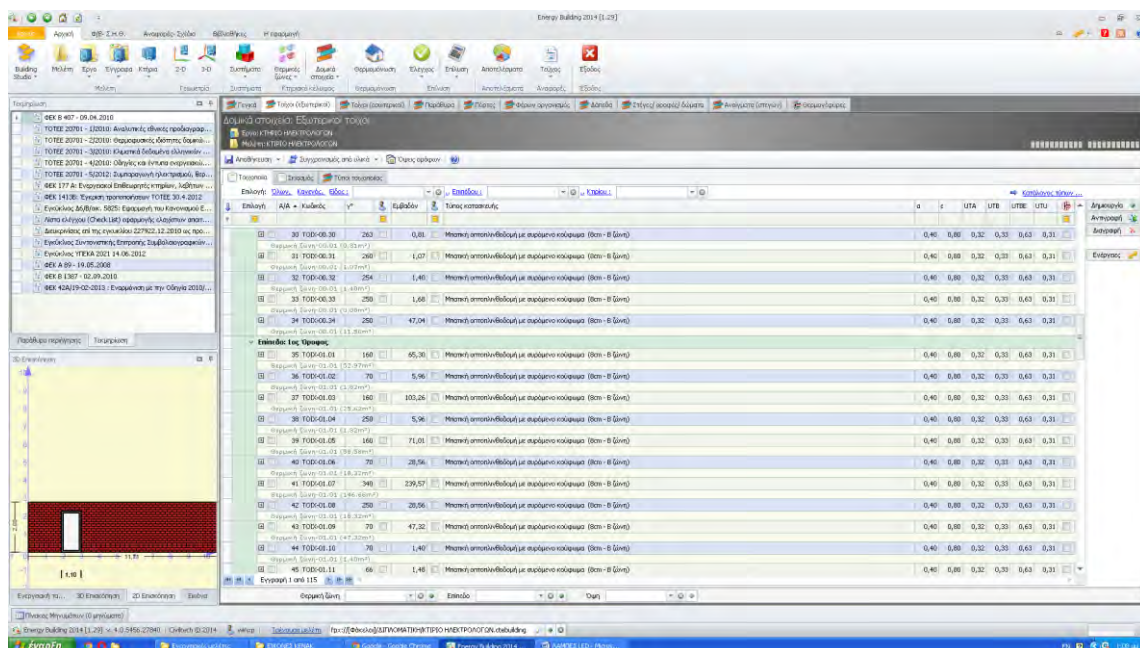


Έπειτα, για το κτιριακό κέλυφος, επιλέγεται από το MENU κτίριο και η επιλογή δημιουργία κτιρίου από αρχείο.

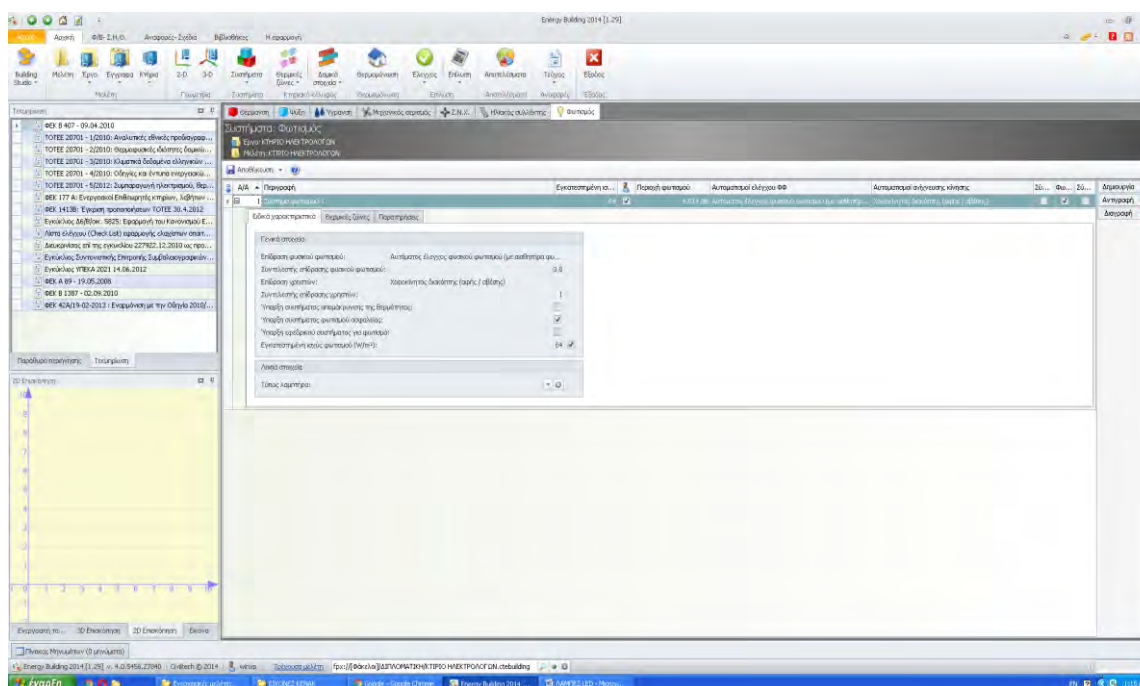




Έπειτα γίνεται εισαγωγή του κτιριακού κελύφους. Εισάγονται τα αδιαφανή & διαφανή δομικά στοιχεία με τους αντίστοιχους προσανατολισμούς, θερμικές ζώνες και συντελεστές.



Στη συνέχεια εισάγονται τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και μηχανικού αερισμού. Οι επιλογές της ύγρανσης και του μηχανικού αερισμού παραμένουν ανενεργές, καθώς το κτίριο αναφοράς δεν διαθέτει διατάξεις ύγρανσης και ο αερισμός είναι αποκλειστικά φυσικός, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις.





## ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

	$U_m =$	0,55
Σύνολο θερμολογίων (W/K)	$I(b_{\Sigma\psi}) =$	649,41
$\Sigma(F_{\Sigma\psi})$ (W/K)	$\Sigma(F_{\Sigma\psi}) =$	2.124,21
Επιφάνεια εξωτερικών τείχων σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (m <sup>2</sup> )	$FT =$	2208,2
Επιφάνεια ανοιγμάτων (m <sup>2</sup> )	$FW =$	595,5
Οριζόντιες ή κεκλιμένες επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) (m <sup>2</sup> )	$FR =$	1.598,57
Επιφάνεια θαλάσσης σε επαφή με εξωτερικό αέρα (m <sup>2</sup> )	$FRB =$	1041,2
Επιφάνεια θαλάσσης σε επαφή με κλειστά μη θερμαινόμενους χώρους (m <sup>2</sup> )	$FRJ =$	0,00
Επιφάνεια θαλάσσης σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή) (m <sup>2</sup> )	$FFA =$	414,8
Επιφάνεια εξωτερικών τείχων σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους (m <sup>2</sup> )	$FTJ =$	0,00
Επιφάνεια εξωτερικών τείχων σε επαφή με το έδαφος (m <sup>2</sup> )	$FTB =$	159,53
Επιφάνεια γυάλινων προτόψων κτηρίων μη ανοιγόμενων ή μέρικώς ανοιγόμενων (m <sup>2</sup> )	$FGF =$	0,00
Ολική εξωτερική επιφάνεια κτηρίου (m <sup>2</sup> )	$F =$	4.959,19
Όγκος οικοδομής (m <sup>3</sup> )	$V =$	11.533,5
Λόγος (m <sup>2</sup> )	$F/V =$	0,43
Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας κτηρίου (W/m <sup>2</sup> K)	$U_m \text{ Max} =$	1,03

## **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΕΕ-Κ.ΕΝ.Α.Κ**

<b>ΕΡΓΟ :</b>	ΚΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
<b>ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ :</b>	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
<b>ΚΥΡΙΟΙ ΕΡΓΟΥ :</b>	Βόλος
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ :2017</b>	
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΕΕ</b>	
<b>ΕΚΔΟΣΗ :</b>	1.29.1.19
<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΑ</b>	
<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ:</b>	Energy Building 2014, Civiltech

Φάκελος έργου: ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ    Αρχείο μελέτης: ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

## ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Το υπό μελέτη κτήριο θα ανεγερθεί στη θέση Βόλος, Οικοδομικό Τετράγωνο , στην περιοχή Βόλος, ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ.

Τα επίπεδα του κτηρίου δίνονται στον πίνακα 2.1 ενώ οι χρήσεις ανά επίπεδο δίνονται στον πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.1** Αριθμός επιπέδων

Υπόγεια	1
Ισόγειο	1
Όροφοι	3

**Πίνακας 2.2** Θερμαινόμενοι χώροι και χρήσεις ανά επίπεδο

Όροφος	Χρήση
1ος Όροφος	Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, Αίθουσες διδασκαλίας
3ος Όροφος, 2ος Όροφος	Γραφεία, Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης
Ισόγειο	Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, Αίθουσες διδασκαλίας, Αμφιθέατρο
1ο Υπόγειο	Αμφιθέατρο

Το ωράριο λειτουργίας του κτηρίου θα διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση, όπως ορίζεται στην ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010. Η κύρια χρήση του νέου κτηρίου είναι "Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης".

### **Κλιματικά δεδομένα**

Οι υπολογισμοί έγιναν για κλιματικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής και συγκεκριμένα για το σταθμό "ΑΓΧΙΑΛΟΣ" με γεωγραφικό πλάτος 39,36° βόρεια και γεωγραφικό μήκος 22,93° ανατολικά. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τις μέσες μηνιαίες τιμές των κλιματολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Τα κλιματικά δεδομένα για την περιοχή Βόλος είναι ενσωματωμένα σε βιβλιοθήκη του λογισμικού και σύμφωνα με όσα ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, "Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών Περιοχών". Για τους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη η μέση μηνιαία θερμοκρασία, η μέση μηνιαία ειδική υγρασία, καθώς και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιες επιφάνειες και σε κατακόρυφες επιφάνειες για όλους τους προσανατολισμούς. Το υψόμετρο της περιοχής όπου θα κατασκευασθεί το κτήριο είναι 5. Η περιοχή ανήκει στην Κλιματική ζώνη Β.

**Πίνακας 2.3** Μέσες μηνιαίες τιμές κλιματολογικών δεδομένων

Μήνας	$\theta_d$	TR
Ιανουάριος	8,0	61,3
Φεβρουάριος	9,1	74,3
Μάρτιος	11,3	112,5
Απρίλιος	15,7	149,2
Μάιος	20,9	189,7
Ιούνιος	25,9	212,7
Ιούλιος	28,2	217,4
Αύγουστος	27,7	195,1
Σεπτέμβριος	23,7	146,8
Οκτώβριος	18,4	98,8
Νοέμβριος	13,5	63,1
Δεκέμβριος	9,4	51,5

Όπου:

$\theta_d$  : Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

TR : Ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m<sup>2</sup>)

### ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΟ ΟΙΚΟΠΕΔΟ

